



Universidad Politécnica de Madrid

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE TELECOMUNICACIÓN**

Life Supporting Technologies

Departamento de Tecnología Fotónica

Proyecto Fin de Carrera

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN ORIENTADO
AL CUIDADO DE LA SALUD EN EL ÁMBITO DEL
HOGAR INTELIGENTE**

Isaac Castro García

Curso 2008/2009



POLITÉCNICA

Universidad
Politécnica de
Madrid



E.T.S.I. Telecomunicación



Dpto. Tecnología Fotónica

Proyecto Fin de Carrera

Título: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN ORIENTADO AL CUIDADO DE LA SALUD EN EL ÁMBITO DEL HOGAR INTELIGENTE

Autor: Isaac Castro García

Tutor: D. Darío Salvi

Tribunal:

Presidente:	D. Gregorio Fernández Fernández
Vocal:	Dña. M ^a Teresa Arredondo Waldmeyer
Secretario:	D. Andrés de Santos y Lleó
Suplente:	D. Rubén San-Segundo Hernández

Fecha: 18 de Diciembre de 2008

Calificación: Matrícula de Honor

Resumen: Hoy en día, la mejora de la calidad de vida ha conseguido, sobre todo en los países desarrollados, un incremento en la esperanza de vida que, unido a la disminución de la tasa de fertilidad, ha provocado un proceso de envejecimiento generalizado de la población. La aplicación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones pueden aportar soluciones que ayuden al cuidado de personas con dependencia, y en particular, a las personas mayores. El presente Proyecto Fin de Carrera diseña y desarrolla un sistema de localización e identificación orientado al cuidado de la salud en el ámbito del hogar inteligente, basado en la tecnología RFID.

A mis padres, por su apoyo y constancia en mi formación. Sin duda, se lo debo todo y hoy estoy aquí gracias a ellos. Habéis sufrido tanto como yo y mucho de lo que hoy he conseguido os pertenece.

A mi perra, Linda, por estar siempre dispuesta a comer y salir a la calle.

A Vicky, por estar a mi lado estos nueve meses inolvidables. Eres todo lo que necesitaba.

A Javi, Ángel, Héctor, Noe, Leti, Pas, Beri y resto de amigos de Móstoles, por todo su apoyo cuando más me hizo falta. He crecido junto a vosotros y sé que podré seguir contando con vosotros en la nueva etapa que hoy comienzo.

A M^a Encina, J. Montoto, Pablo, Juan, Paco, Guille, Paula y J. Carlos, por todos estos años de universidad. A Poza y Gon, por su amistad y ese año irrepetible en Patras. A María, Emilio y Jorge, por aguantarme además desde pequeñajo.

A mis Biosisters, Marta y Paula, por haberme acompañado este último año y compartir mis mismas ilusiones. ¿Dónde estabais todos estos años?

A toda la gente del MAS+. Habéis llegado sin avisar y estoy seguro de es que para quedaros.

A mi tutor, Dario, por estos quince meses de dedicación completa, su apoyo y todo lo aprendido. Durante la realización de este Proyecto Fin de Carrera no me he sentido solo en ningún momento. ¡Muchas gracias Dario!

A Nacho, Lydia, Otta y Elena y resto de compañeros del LST, por haber estado dispuestos a ayudarme siempre que lo he necesitado y hacerme todo este tiempo tan agradable.

A M^a Teresa Arredondo, por haberme ofrecido la oportunidad y el reto de realizar un Proyecto Fin de Carrera tan interesante e innovador.

A todos aquellos que no cito aquí, pero que de una forma u otra contribuyen a que mis sueños se vayan cumpliendo y que este momento haya llegado.

A todos vosotros, gracias.

‘Es justamente la posibilidad de realizar un sueño lo que hace la vida interesante’

(Paulo Coelho)

MEMORIA

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	Introducción.....	19
1.1	Hogar inteligente, Inteligencia Ambiental y e-Salud.....	19
1.2	Objetivos del Proyecto Fin de Carrera	21
1.3	Plan de trabajo.....	22
1.4	Organización del texto	23
2	Contexto de aplicación.....	27
2.1	Contexto social.....	27
2.2	Sistemas de posicionamiento en interiores para el cuidado de la salud	31
2.3	Comparativa de tecnologías IPS.....	36
2.3.1	Radio Frequency Identification (RFID)	36
2.3.2	Bluetooth	38
2.3.3	ZigBee	38
2.3.4	Wi-Fi.....	39
2.3.5	Ultra Wide Band (UWB).....	39
2.3.6	Z-Wave.....	40
2.3.7	Ultrasonidos.....	41
2.3.8	Infrarrojos	41
2.3.9	Visión artificial	42
2.4	Comparativa de algoritmos IPS.....	44
2.4.1	Trilateración.....	44
2.4.2	Triangulación	45
2.4.3	Multilateración	46
2.4.4	Radio fingerprinting.....	46
2.4.5	Conectividad	47
3	Metodologías	51
3.1	Desarrollo en espiral	51
3.2	Continuous integration	52
4	Tecnologías	57

4.1	RFID-Activo.....	57
4.2	Java	59
4.3	Microsoft Visio	60
4.4	Adobe Fireworks	60
5	Módulo de adquisición	63
5.1	Protocolo de comunicación	63
5.1.1	Descripción de protocolo.....	63
5.1.2	Funciones.....	64
5.2	Proceso de adquisición	65
5.3	Arquitectura software.....	66
6	Algoritmo de posicionamiento.....	71
6.1	Modelo teórico	71
6.1.1	Cálculo de coordenadas.....	71
6.1.2	Cálculo de distancias	74
6.2	Causas de incertidumbre	76
6.2.1	Cuantificación	76
6.2.2	Multitrayecto	77
6.2.3	Ruidos	78
6.2.4	Dependencia de tag.....	78
6.2.5	Dependencia de lector.....	81
6.2.6	Dependencia de orientación	82
6.2.7	Dependencia temporal	85
6.3	Curva RSSI-Distancia	87
6.3.1	Escenario 1: despacho	88
6.3.2	Escenario 2: pasillo	89
6.3.3	Escenario 3: aire libre	95
6.4	Trilateración	102
6.4.1	Prueba de Algoritmo.....	102
6.4.2	Solución: Modelo con error	109

7	Conclusiones y futuras mejoras	117
7.1	Conclusiones	117
7.2	Futuras mejoras	119
8	Referencias	123
	Pliego de condiciones	129
	Presupuesto.....	133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Arquitectura global del sistema	22
Figura 2 Distribución de la población mundial mayor de 65 años en el año 2025 (WHO, 2005)	27
Figura 3 Población según sexo y edad en los años 2005, 2020 y 2050 en España (Abellán, 2006).....	28
Figura 4 Pirámide población española 2007 (INE, 2007).....	29
Figura 5 Diferencia de pirámides entre 1996-2011 (Comunidad de Madrid, 2007)	30
Figura 6 Tag RFID-Pasivo	36
Figura 7 Tags RFID-Activo	37
Figura 8 Logo Bluetooth	38
Figura 9 Logo ZigBee.....	38
Figura 10 Logo Wi-Fi	39
Figura 11 Logo WiMedia Alliance	39
Figura 12 Logo Z-Wave	40
Figura 13 Dispositivo de ultrasonidos	41
Figura 14 Logo IrDA	41
Figura 15 Cámara de visión artificial	42
Figura 16 Modelo en espiral	51
Figura 17 Diseño sistema localización e identificación.....	58
Figura 18 Logo Java Sun Microsystems	59
Figura 19 Arquitectura software de Módulo de adquisición.....	67
Figura 20 Ejemplo de uso de trilateración.....	71
Figura 21 Gráfico descriptivo de algoritmo de trilateración	72
Figura 22 Escenario esquemático con tag y lector	75
Figura 23 Entornos de diferentes geometrías con multitrayecto.....	77
Figura 24 Resultados de dependencia de tag.....	79
Figura 25 Efecto producido por dependencia de tag	80
Figura 26 Resultados de dependencia de lector	82
Figura 27 Posiciones analizadas para el estudio de dependencia de orientación.....	83
Figura 28 Resultados de dependencia de orientación para Tag=0001000107193044	84

Figura 29 Resultados de dependencia de orientación para Tag=0001000107161021	84
Figura 30 Efecto producido por dependencia temporal	86
Figura 31 Resultados de dependencia temporal	87
Figura 32 Curva RSSI-distancia en escenario de despacho	89
Figura 33 Curva RSSI-distancia en escenario de pasillo	91
Figura 34 Resultados de error de RSSI en escenario de pasillo	94
Figura 35 Resultados de error de distancia en escenario de pasillo	94
Figura 36 Curva RSSI-distancia en escenario al aire libre	96
Figura 37 Resultados de error de RSSI en escenario al aire libre	98
Figura 38 Resultados de error de distancia en escenario al aire libre	98
Figura 39 Curva RSSI-distancia media de escenarios pasillo y aire libre	100
Figura 40 Resultados de error de RSSI medios de escenarios pasillo y aire libre	101
Figura 41 Resultados de error de distancia medios de escenarios pasillo y aire libre	101
Figura 42 Escenario creado para primer grupo de pruebas de Algoritmo de posicionamiento.....	103
Figura 43 Escenario creado para segundo grupo de pruebas de Algoritmo de posicionamiento.....	105
Figura 44 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento	108
Figura 45 Ejemplo de modelo de trilateración sin error	109
Figura 46 Corona circular	110
Figura 47 Ejemplo de modelo de trilateración con error	111
Figura 48 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento con modelo de error.....	112
Figura 49 Visión general del estado actual en localización (Instituto de Automática Industrial-CSIC)	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características esenciales para IPS en el cuidado de la salud	33
Tabla 2 Comparativa de tecnologías IPS.....	43
Tabla 3 Lector SYRD245-1N	58
Tabla 4 Tag SYTAG245-TM.....	58
Tabla 5 Tag SYTAG245-2K.....	59
Tabla 6 Tag SYTAG245-2S	59
Tabla 7 Resumen de funciones protocolo de comunicación	64
Tabla 8 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento para la orientación 1	106
Tabla 9 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento para la orientación 2	107
Tabla 10 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento para la orientación 3	107
Tabla 11 Error medio total de las 3 orientaciones	108

1

Introducción



1 INTRODUCCIÓN

1.1 HOGAR INTELIGENTE, INTELIGENCIA AMBIENTAL Y E-SALUD

“I do not fear computers, I fear the lack of them” (Isaac Asimov).

El concepto de **hogar inteligente** se ha aplicado durante la última década a la idea de edificio o estructura equipada con sistemas capaces de automatizar el entorno y aportar servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, que pueden integrarse mediante redes interiores y exteriores, cableadas o inalámbricas, y cuyo control goza de cierta ubicuidad, desde dentro y fuera del hogar. Podría definirse también como la integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto.

El término **domótica** fue usado por primera vez en Francia. En 1988, la enciclopedia Larousse definía el vocablo “domotique” como el concepto de vivienda que integra todos los automatismos en materia de seguridad, gestión de la energía, comunicaciones y otros servicios. Es decir, el objetivo es asegurar al usuario de la vivienda un aumento del confort, seguridad, ahorro energético y facilidades de comunicación.

La Real Academia Española lo define así:

(Del lat. *domus*, casa, e *informática*).

1. f. Conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda¹.

Para que un sistema pueda ser considerado "inteligente" ha de incorporar elementos o sistemas basados en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). El uso de las TIC en el hogar genera nuevas aplicaciones y tendencias basadas en la capacidad de proceso de información y en la integración y comunicación entre los equipos e instalaciones. Así concebido, un hogar inteligente puede ofrecer una amplia gama de aplicaciones en áreas tales como:

- Seguridad
- Gestión de la energía
- Automatización de tareas domésticas
- Formación, cultura y entretenimiento
- Teletrabajo

- Operación y mantenimiento de las instalaciones
- Monitorización de salud

En febrero de 2001, la ISTAG (Information Society Technologies Advisory Group), grupo asesor de la Comisión Europea en el campo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones bajo el programa europeo Marco de investigación², dio la definición de un nuevo paradigma: **Ambient Intelligence (Aml)**, como la visión de un ambiente en el cual la tecnología se vuelve “invisible”, embebida en el entorno natural, presente donde se la necesite, activada por interacciones simples, sintonizada a nuestros sentidos, adaptable a los usuarios y al contexto, y proactiva³.

Como ocurre en otros ámbitos, las TIC están cada vez más presentes en el ámbito de la salud, convirtiéndose de facto en la mayor fuente de información y gestión sanitaria para profesionales y pacientes, por lo que la tendencia es aplicar la Inteligencia Ambiental (Ambient Intelligent, Aml) en el hogar inteligente en combinación con la **eSalud**.

La Fundación Auna, ahora llamada Fundación France Telecom España, en su VI Informe Anual sobre el Desarrollo de la Sociedad de la Información en España, eEspaña 2006, definió la eSalud (del término inglés, eHealth) como la aplicación de las Tecnologías de Información y Comunicación en el amplio rango de aspectos que afectan el cuidado de la salud, desde el diagnóstico hasta el seguimiento de los pacientes, pasando por la gestión de las organizaciones implicadas en estas actividades. En el caso concreto de los ciudadanos, la eSalud les proporciona considerables ventajas en materia de información, incluso favorece la obtención de diagnósticos alternativos. En general, para los profesionales, la eSalud se relaciona con una mejora en el acceso a información relevante, asociada a las principales revistas y asociaciones médicas, con la prescripción electrónica asistida y, finalmente, con la accesibilidad global a los datos médicos personales a través de la Historia Clínica Informatizada⁴.

Según el prestigioso investigador Alejandro Jadad, Director del Centro para la Innovación Global en eSalud, calificado por la revista Time como “genio guía del mundo” y como la persona que más puede influir en los próximos años en este sector, “la eSalud no es un modo alternativo o adicional de atención sanitaria como consecuencia de la aplicación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, sino formas diferentes de prestar servicios ordinarios; en muchos casos, de forma más eficiente y efectiva, y en otros, de forma más equitativa, gracias al potencial de cambio que las mismas facilitan, para poder mejorar: la

accesibilidad, rapidez en la atención, reducción de tiempos de respuesta, implantación de alertas, ahorro de costes, precocidad diagnóstica, mejora de la efectividad diagnóstica o terapéutica, mejora en la calidad del servicio, etc. Sólo en casos muy excepcionales, en los que el valor añadido diferencial potencial fuese muy alto, hablaríamos de una nueva modalidad asistencial”.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

El presente Proyecto Fin de Carrera tiene como objetivo:

- El diseño y desarrollo de un sistema de localización e identificación orientado al cuidado de la salud en el ámbito del hogar inteligente.

El sistema permitirá localizar e identificar en todo momento al paciente dentro de su domicilio, así como objetos de su entorno o los diversos dispositivos necesarios para su cuidado o teleasistencia.

Los objetivos secundarios del proyecto son:

- **Precisión y exactitud.** El sistema tiene que proporcionar una posición concreta dentro del hogar del dispositivo o paciente, y esta posición debe hallarse con un cierto porcentaje de precisión (valores próximos obtenidos de mediciones idénticas) y exactitud (valor medido próximo al valor real).
- **Fiabilidad.** Será necesaria una alta probabilidad de que el sistema funcione correctamente durante la mayor parte del tiempo, aún en condiciones de estrés o de alta presencia de obstáculos.

El sistema objetivo de este Proyecto Fin de Carrera se ha estructurado en dos bloques: el **Módulo de adquisición** y tratamiento de datos y el **Algoritmo de posicionamiento** que, a partir de la información entregada por el Módulo de adquisición, proporciona el servicio de localización e identificación ([Figura 1](#)).

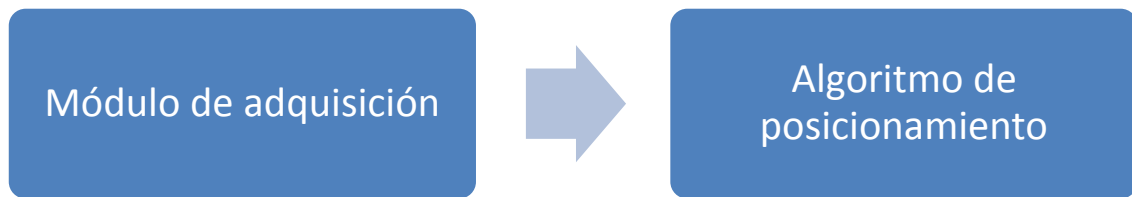


Figura 1 Arquitectura global del sistema

1.3 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo desarrollado para la realización de este Proyecto Fin de Carrera se ha estructurado como sigue:

- **Estudio y evaluación del estado del arte** y selección de las soluciones óptimas presentes en el campo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones aplicadas a la salud, identificando cuáles de ellas son técnicamente posibles, económicamente factibles y adecuadamente manejables por el usuario.
- **Análisis de metodologías.**
- **Diseño del sistema**, tanto a nivel software como a nivel hardware.
- **Desarrollo** del sistema de localización e identificación, haciendo uso de las metodologías y tecnologías estudiadas durante la realización del PFC.
- **Evaluación y validación** global del sistema, realización de pruebas y análisis de los resultados de dichas pruebas en relación a los objetivos secundarios del proyecto: precisión, exactitud y fiabilidad.
- **Mejoras.**

1.4 ORGANIZACIÓN DEL TEXTO

Este documento ha sido estructurado de modo que se corresponde lo más fielmente posible con el plan de trabajo desarrollado a lo largo de este Proyecto Fin de Carrera. El orden seguido es el siguiente:

- **Capítulo 1: Introducción.** En él se introducen los conceptos de hogar inteligente, Inteligencia Ambiental y eSalud.
- **Capítulo 2: Contexto de aplicación.** Da una visión del contexto social y realiza un estudio del estado del arte, con comparativas de tecnologías y algoritmos de posicionamiento.
- **Capítulo 3: Metodologías.** Describe las principales características de las metodologías de diseño e implementación utilizadas durante el desarrollo del sistema.
- **Capítulo 4: Tecnologías.** Desarrolla las características principales de las tecnologías empleadas para el desarrollo del sistema.
- **Capítulo 5: Módulo de adquisición.** Describe detalladamente el módulo encargado de la adquisición de datos, cómo se realiza la comunicación con los lectores y cuál es el proceso de captura y tratamiento de la información.
- **Capítulo 6: Algoritmo de posicionamiento.** Describe el algoritmo que ofrece el servicio de localización e identificación, dando una visión cronológica del proceso de diseño, implementación y pruebas del algoritmo final.
- **Capítulo 7: Conclusiones y futuras mejoras.** Finalmente se realiza una reflexión global sobre los resultados del Proyecto Fin de Carrera y se proponen posibles mejoras a realizar sobre el mismo.
- **Capítulo 8: Referencias.**
- **Pliego de condiciones.**
- **Presupuesto.**

Contexto de aplicación



2 CONTEXTO DE APLICACIÓN

2.1 CONTEXTO SOCIAL

La mejora de la calidad de vida ha conseguido, sobre todo en los países desarrollados, un incremento en la esperanza de vida que, unido a la disminución de la tasa de fertilidad (hijos/madre), ha provocado un proceso de envejecimiento generalizado de la población. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), entre 2000 y 2050, la población mundial de 60 años o más se multiplicará por más de tres, pasando de 600 millones a 2000 millones. La mayor parte de ese aumento se producirá en países en desarrollo, donde pasarán de 400 a 1700 millones en ese mismo periodo⁵. En la [Figura 2](#) se muestra una previsión de la OMS para el 2025 de la población mundial mayor de 65 años:

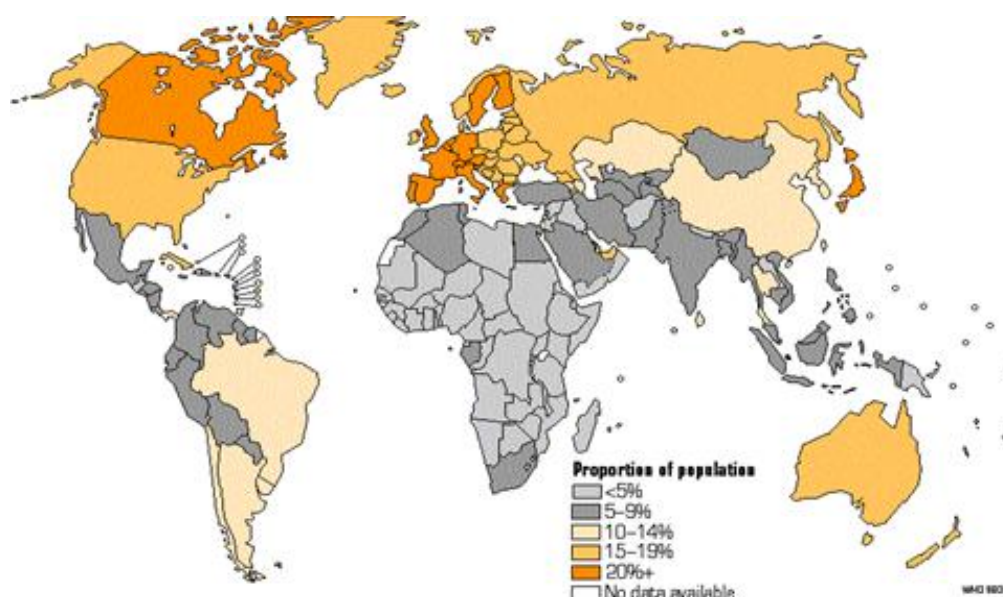


Figura 2 Distribución de la población mundial mayor de 65 años en el año 2025 (WHO, 2005)

En el caso de España, se prevé que el envejecimiento de la población en los años 2020 y 2050 con respecto al año 2005 sea como sigue (Abellán, 2006)⁶ ([Figura 3](#)).

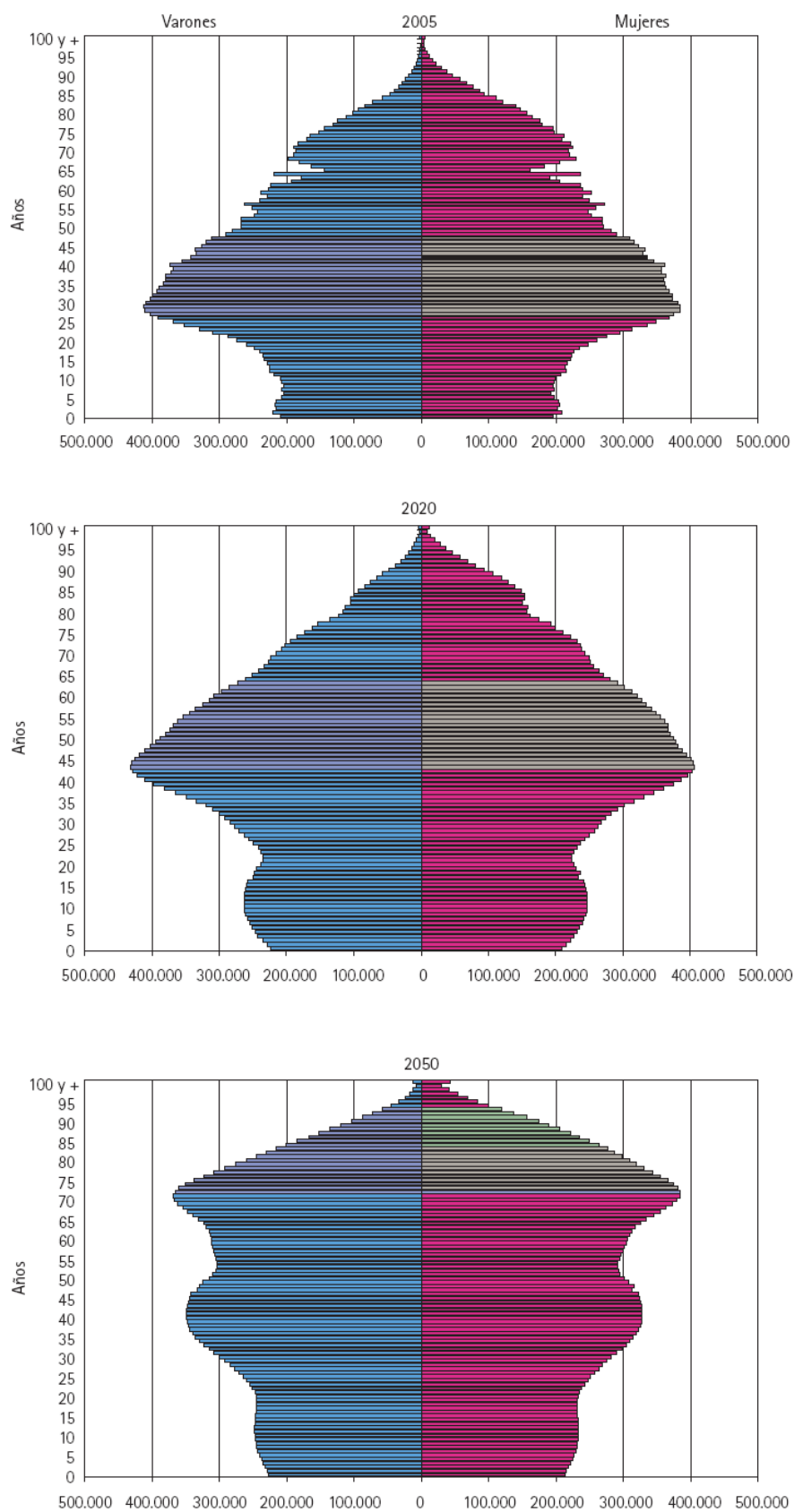


Figura 3 Población según sexo y edad en los años 2005, 2020 y 2050 en España (Abellán, 2006)

Según la OMS en su World Health Statistics 2007, en España la esperanza de vida en 2005 estaba situada en torno a los 77 años para los hombres y 84 años para las mujeres⁷. El hundimiento de la tasa de fertilidad española desde 1976 (a noviembre de 2007, de 1,29 hijos/mujer según el ranking elaborado por The World Factbook de la CIA, que sitúa a España en el puesto 206 de una lista de 222 países⁸) provocó el comienzo del envejecimiento de la población, solo frenado en parte por la llegada de inmigrantes desde los años 90. En la **Figura 4** se representa la pirámide de población de 2007 estimada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) a partir del último censo, realizado en 2001, donde se resalta la población mayor de 60 años⁹. En la **Figura 5**, la diferencia entre pirámides de población de la Comunidad de Madrid entre los años 1996 y 2011, según un estudio del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid¹⁰:

Pirámide de población de España, año 2007

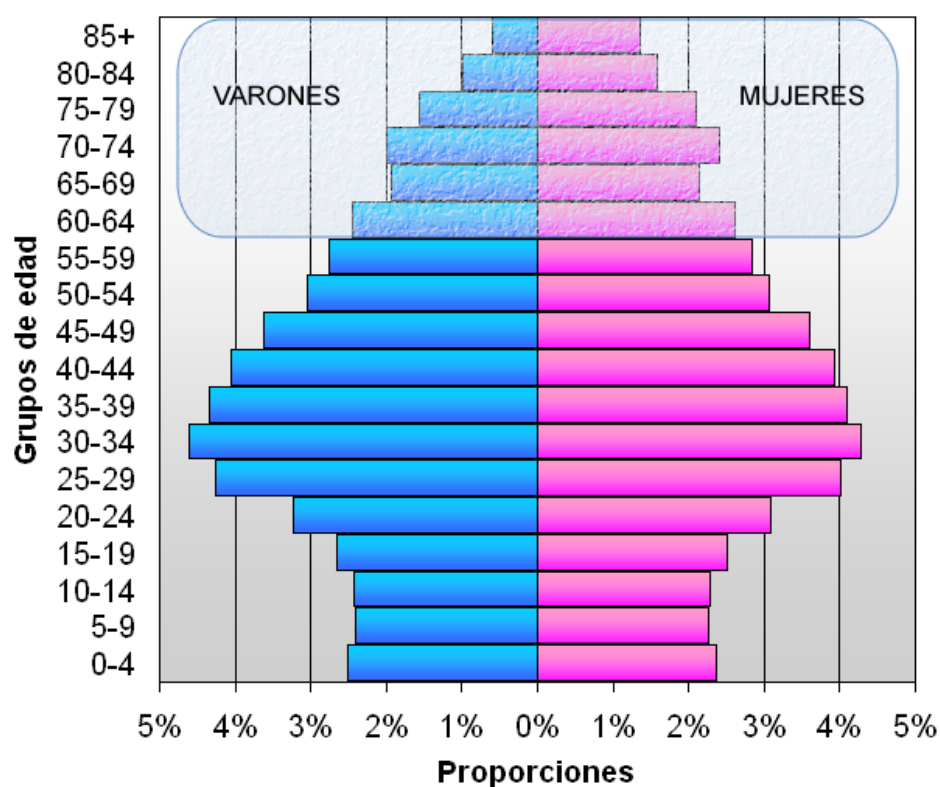


Figura 4 Pirámide población española 2007 (INE, 2007)

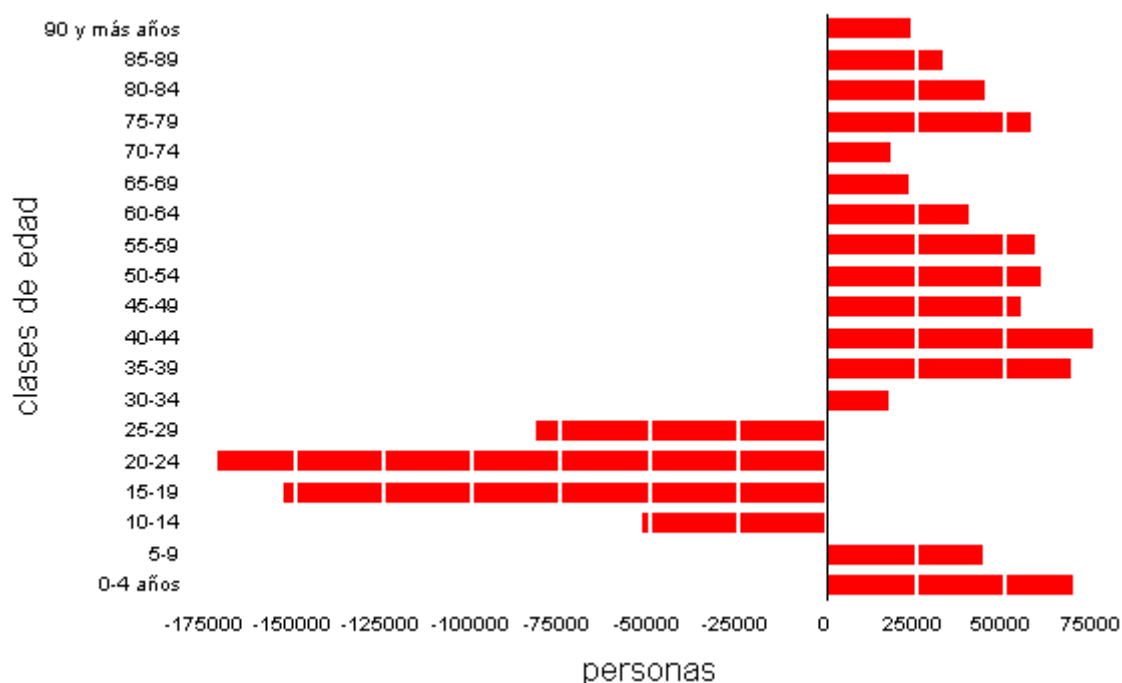


Figura 5 Diferencia de pirámides entre 1996-2011 (Comunidad de Madrid, 2007)

Por tanto, la idea de hogar inteligente ha de estar, cada vez más, ligada a la ayuda a personas con dependencia, y en particular, a las personas mayores. La tendencia es aplicar Inteligencia Ambiental (AmI) en el hogar inteligente, en combinación con la eSalud, y dirigirla a personas mayores y con necesidades especiales: pacientes con algún tipo de minusvalía, problemas de movilidad o que residen en lugares de difícil acceso, pacientes con insuficiencia cardiaca o dolencias crónicas como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, la diabetes o enfermedades degenerativas de los nervios como el Parkinson, el Alzheimer, la esclerosis lateral amiotrófica o la esclerosis múltiple.

Se están llevando a cabo numerosos proyectos en torno a esta idea, donde la **localización e identificación** juegan un papel fundamental. Con un sistema de localización e identificación, se podrá verificar, por ejemplo, que las mediciones enviadas por un dispositivo (tensiómetro, báscula, etc.) están siendo realizadas por el paciente en cuestión, comprobando si coincide la posición del paciente con la del dispositivo, y evitar así falsas alarmas provocadas por un posible fallo del dispositivo o la manipulación del mismo por otra persona distinta al paciente. Si, por ejemplo, el paciente tuviera algún problema y cayera al suelo, podría darse la alarma al comprobar que su posición, en un lugar inusual, no cambia durante un cierto tiempo.

Asimismo, resultaría útil en pacientes con pérdida de memoria ya que el sistema podría ayudarles a recordar en qué lugar de la casa se encuentra el objeto o dispositivo que buscan.

Además de las múltiples aplicaciones que puede tener la localización e identificación de pacientes y dispositivos u objetos de su entorno, generan confianza, sensación de seguridad y combaten la soledad (conjunto de sentimientos negativos entre los que destacan la tristeza, la sensación de vacío y la falta de comunicación, que sufre el 22% de las personas mayores, según un estudio de IMSERSO-CIS¹¹).

2.2 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO EN INTERIORES PARA EL CUIDADO DE LA SALUD

Se puede definir un **sistema de posicionamiento en interiores (Indoor Positioning System, IPS)**, como:

- Sistema que continuamente y en tiempo real puede determinar la posición de una persona u objeto, desde una distancia, dentro de un espacio físico¹².

Donde, dentro del ámbito del cuidado de la salud:

- Un *espacio físico* puede ser un hospital entero, una unidad de cuidados, una sala de procedimientos, la habitación o el hogar del paciente.
- *Distancia* referida a gente u objetos localizados dentro de un espacio físico; sin tener que desplazarse hacia dentro o fuera de ese espacio, y sin tener que llevar un lector hasta la persona u objeto.
- *Persona u objeto* referidos a un IPS para el cuidado de la salud, siendo posible encontrar e identificar una persona tan precisa y exactamente como un equipo o aparato médico.
- *Tiempo real* significa que el sistema comprueba la localización y actualiza la posición de una persona u objeto con una frecuencia suficientemente elevada para reaccionar a cambios de posición en tiempo útil.
- *Continuamente* significa que el sistema permanece funcionando todo el tiempo.

Los sistemas de posicionamiento en interiores son usados, en el ámbito de la salud, para localizar material médico, equipos, pacientes o personal de hospital. Estos sistemas llevan

existiendo desde hace casi 20 años, pero sólo recientemente han comenzado a ser prácticos, con la reducción de los costes y el aumento de su implementación. El reciente y repentino aumento de interés por los sistemas RFID (Radio Frequency Identification) y redes inalámbricas ha acercado al posicionamiento en interiores a la corriente dominante del sector.

Hoy en día, las organizaciones de la salud tienen continuamente problemas de pérdida o robo de dispositivos o material médico, que pueden causar a un hospital compras y alquileres innecesarios, aumentar el periodo de ingreso de los pacientes y, en definitiva, costarle tiempo y dinero. Además, la incapacidad de rastrear pacientes con movilidad con cierto grado de fiabilidad puede llevar a crisis médicas (por ejemplo, cuando el monitor inalámbrico de un paciente con movilidad da la alarma, pero el paciente no puede ser localizado). Los hospitales pueden tener también la necesidad de encontrar rápidamente personal, en el caso de que un clínico tenga un problema y necesite ayuda, o que el clínico simplemente quiera comunicar su posición en caso de una emergencia médica. Los hospitales, asimismo, se encuentran bajo presión para que proporcionen una exhaustiva visión de pacientes, personal y recursos que cumpla con los requisitos de organizaciones sin ánimo de lucro como The Joint Commission International (JCI) o International Society for Quality in Health Care Inc. (ISQua), dedicadas a mejorar la calidad y seguridad de los servicios de cuidado de la salud en la comunidad internacional. La JCI es filial de The Joint Commission (hasta 2007, Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations, JCAHO), que ya supervisa cerca de 20.000 programas de atención médica en EE.UU., a través de un proceso voluntario de certificación¹³. Tanto la JCI como la ISQua, con miembros en más de 70 países¹⁴, trabajan en España conjuntamente con la Fundación Avedis Donabedian (FAD), con sedes en Madrid y Barcelona¹⁵, acreditando organizaciones y centros de salud¹⁶.

Asimismo, en la perspectiva del **cuidado de la salud**, dentro del **hogar inteligente** entendido como la integración de la eSalud en el diseño automatizado de la vivienda, el posicionamiento juega también un rol importante. Y es el colectivo de la Tercera Edad el más numeroso de los que tiene la eSalud como objetivo.

Analizando una posible solución de posicionamiento en interiores aparece una serie de preguntas clave para cada característica ([Tabla 1](#)):

Características esenciales para IPS en el cuidado de la salud	
Precisión	<ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo de específica ha de ser la localización? ¿1 metro? ¿10 metros?
Exactitud	<ul style="list-style-type: none"> ¿Qué porcentaje de tiempo funciona correctamente el sistema? ¿Qué importancia tiene un alto grado de exactitud en la aplicación prevista?
Factibilidad económica	<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el precio de adquisición?
Practicidad del modelo para uso de tags	<ul style="list-style-type: none"> ¿Qué tamaño tiene el tag? ¿Qué opciones existen para adjuntarlos a objetos? ¿Es posible colocarlos en aparatos sensibles? ¿Puede ser usado por la gente? ¿Duración de la batería? ¿Qué coste tiene el recambio de baterías? ¿Qué características anti-manipulación son estándar? ¿Son interactivos?
Instalación	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se requiere cableado especial? ¿Puede usarse una infraestructura existente? ¿Inalámbrica o con cables? ¿Cuántas direcciones IP se necesitan?
Interferencia	<ul style="list-style-type: none"> ¿Existe alguna garantía de que el sistema no interferirá con alguna LAN inalámbrica? ¿Y con otros aparatos médicos?
Alertas y análisis	<ul style="list-style-type: none"> ¿Puede analizarse la información de identidad y de localización y usarse inteligentemente para activar alertas en tiempo real a personas o sistemas? ¿Pueden ser adaptadas las alertas a las necesidades del hospital?
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ¿Hay auto-diagnósticos disponibles?
Integración	<ul style="list-style-type: none"> ¿Puede integrarse en otros sistemas la información de identidad y localización? ¿Hay interfaces ya existentes?

Tabla 1 Características esenciales para IPS en el cuidado de la salud

El posicionamiento en interiores requiere la correcta combinación de la identificación automática, auto-ID (reconocimiento de una persona u objeto) y las tecnologías de localización (determinación del emplazamiento de una persona u objeto) de modo que satisfagan las características más importantes de evaluación de sistemas: **precisión** (cómo de próximos se encuentran los valores obtenidos de mediciones idénticas de localización de una persona u objeto), **exactitud** (cómo de cierta es la localización o cómo de cerca del valor real se encuentra el valor medido) y **factibilidad económica**, en términos de precio de adquisición,

mantenimiento y expansión. También esenciales para el cuidado de la salud son la productividad, los beneficios y una rápida y continua rentabilidad de la inversión.

Actualmente no existe aún una solución definitiva de posicionamiento en interiores, ya que el **GPS** es solamente efectivo y preciso en exteriores (salvo centro de ciudades, bosques y valles cerrados) y las soluciones para interiores hasta ahora desarrolladas no satisfacen alguno o varios de los requisitos fundamentales:

- Precisión
- Exactitud
- Bajo coste
- Robustez
- Escalabilidad
- Fácil instalación
- Capacidad de autocalibración
- Bajo consumo
- Pequeño tamaño
- Privacidad

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y que el sistema de posicionamiento ha de ser **inalámbrico** y debe permitir la **identificación**, actualmente las tecnologías que se asocian a este tipo de soluciones son:

- **Radiofrecuencia**
 - Radio Frequency Identification (RFID)
 - RFID-Activo
 - RFID-Pasivo
 - Bluetooth
 - ZigBee
 - Wi-Fi
 - Ultra Wide Band (UWB)
- **Ultrasónicas**

- **Ópticas**
 - Infrarrojos (IR)
 - Visión artificial

Además de estas tecnologías, existen otras **propietarias**, esto son, productos o sistemas no abiertos desarrollados por una empresa para sólo poder interactuar con sus propios dispositivos o con otros de terceros especificados anticipadamente¹⁷. Tecnologías propietarias son, por ejemplo, Ensation de Philips o, de mayor interés para soluciones IPS, Z-Wave, desarrollada por la empresa Zensys y apoyada por Intel.

Para poder determinar la localización mediante alguna de las tecnologías citadas anteriormente es necesario aplicar un algoritmo que permita obtener distancias y posiciones a partir de la transformación de determinadas variables físicas:

- **TOA (Time of Arrival)**. Medida de tiempo absoluto que tarda en llegar una señal de radio de origen a destino.
- **TDOA (Time Difference of Arrival)**. Medida de diferencia de tiempos de llegada de una misma señal a un conjunto de antenas receptoras.
- **AOA (Angle of Arrival)**. Medida del ángulo de llegada de una señal a una antena receptora.
- **Potencia o RSSI**. Medida de la potencia recibida de una señal, o medida aproximada de rangos por intensidad de la señal recibida (RSSI, Received Signal Strength Indicator).
- **Proximidad**. Medida de proximidad, donde se mide si el emisor se encuentra o no dentro de un rango fijo de cobertura, pero no puede conocerse a qué distancia.

Los algoritmos que hacen uso de las tecnologías y variables físicas descritas anteriormente, desarrollados más adelante y que se emplean en este tipo de soluciones de interiores, son:

- **Trilateración**
- **Triangulación**
- **Multilateración**
- **Radio fingerprinting**
- **Conectividad**

2.3 COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS IPS

A continuación se hace una comparativa de las distintas tecnologías asociadas al posicionamiento en interiores:

2.3.1 RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID)

La tecnología RFID (Radio Frequency Identification) es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto, nacido para la identificación, que usa dispositivos denominados etiquetas o tags RFID. Para su estandarización existen varios grupos de especificaciones competidoras: por un lado EPCglobal y por otro, ISO, donde la serie de estándares más estrictamente relacionada con RFID es la serie ISO 18000¹⁸. Según la naturaleza de los tags, distinguimos entre RFID-Pasivo y RFID-Activo.

RFID-PASIVO

Los RFID-Pasivo proporcionan identificación cuando el tag, que no necesita batería, es leído en un proceso manual que requiere de la proximidad entre tag y lector. Los tags RFID-Pasivo son pequeños y ligeros (Tabla 2 y Figura 6).



Figura 6 Tag RFID-Pasivo

Como principales ventajas, los sistemas RFID-pasivos cuentan con un bajo precio y un reducido tamaño, y no necesitan baterías.

Las mayores desventajas del RFID-pasivo son la limitada distancia de lectura, la posibilidad de interferencia electromagnética (electromagnetic interference, EMI) porque las antenas radian una relativamente alta cantidad de energía RF y la necesidad de hacer consideraciones especiales cuando se integran datos. La infraestructura requerida es compleja (antenas, transpondedores, concentradores, etc.) y la cobertura típica de entrada requiere antenas lectoras relativamente grandes, que pueden ser golpeadas y desintonizadas con bastante facilidad en el caótico entorno del hospital.

El RFID-pasivo tiene un importante lugar en el cuidado de la salud porque puede identificar objetos y personas en entornos controlados, como médicos que entran en áreas restringidas

del hospital. Otro uso práctico de los RFID-pasivos es la identificación y gestión de inventario de narcóticos u otros medicamentos caros. Debido a que la información de localización puede suponerse basándose en la localización de la antena que lee los datos del tag (“Soy el tag XYZ en la antena ABC”), los sistemas con RFID-pasivos no pueden localizar a la persona u objeto una vez que ha pasado ya la antena, es decir, permite conocer solamente la ubicación simbólica. Además, los sistemas con RFID-pasivos no son continuos, de tiempo real o utilizables a una distancia razonable.

RFID-ACTIVO

Los tags RFID-Activo necesitan batería pero permiten la transmisión de una señal conocida a mayores distancias. La comunicación no depende ya tanto del tamaño de la antena lectora, por lo que los lectores pueden ser de menor tamaño y menos costosos que aquellos necesarios para leer tags RFID-pasivos ([Tabla 2](#) y [Figura 7](#)).



Figura 7 Tags RFID-Activo

La gran ventaja es la habilidad de transmitir a distancias mayores (mayores de 5 metros y en algunos casos hasta 100 metros) con estos lectores de menor tamaño. Hay datos de revisión de par que mejoran la exactitud de los sistemas basados en RFID-activos. Además, los tags RFID-activos no necesitan estar cerca o entrar en contacto físico con los lectores y no se requiere interacción del usuario para leer la información del tag.

Como desventaja, los tags son normalmente mayores y más caros que los tags RFID-pasivos, dependiendo de la aplicación, aunque cada vez existe menos diferencia. En cuanto a los lectores de alta frecuencia, a pesar de ser una ventaja frente a los RFID-pasivos, son aún caros (por encima de los 100 euros en la mayoría de los casos).

Los sistemas RFID-activos son de los más efectivos para identificación y localización de personas y objetos que se mueven frecuentemente y sobre grandes distancias en interiores. El mayor rango de lectura, la fuente de energía, la larga autonomía (en torno a los 5 años) y la mayor simpleza y menores costes de los receptores hacen puedan calificarse a los sistemas RFID-activos como IPS ya que son continuos, esencialmente de tiempo real y efectivos a una distancia razonable.

2.3.2 BLUETOOTH

El estándar IEEE 802.15.1¹⁹, también conocido como Bluetooth, es un protocolo de comunicaciones de voz y datos de corto alcance.



Figura 8 Logo Bluetooth

Los dispositivos Bluetooth se utilizan con mayor intensidad en los sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDAs, teléfonos móviles, portátiles, PCs, impresoras y cámaras digitales (Tabla 2 y Figura 8). Los dispositivos Bluetooth forman mini celdas, de forma similar a cómo operan los sistemas de telefonía móvil. Cuando se instalan suficientes celdas Bluetooth, la posición del transmisor puede suponerse conociendo la celda con la que el dispositivo está comunicando.

La ventaja de los sistemas basados en Bluetooth es que, además de la información de posición, aportan una limitada comunicación de datos: alrededor de 700 kbps (el estándar IEEE 802.11b opera con 11Mbps).

La mayor desventaja de la tecnología Bluetooth es que requiere una gran cantidad de relativamente costosas celdas receptoras. Cuanto mayor sea el número de celdas, menor es el tamaño de las mismas y eso se traduce en una mayor exactitud. Sin embargo, aumentar el número de celdas incrementa el coste de adquisición e instalación.

Teóricamente, el Bluetooth podría usarse para posicionamiento en interiores pero no reúne todos los criterios necesarios para IPS en el cuidado de la salud. Una consideración crucial es la necesidad de tener un ordenador host (PDA, portátil, etc.) que soporte el radio Bluetooth para que sea localizado. Esto significa que actualmente es poco viable para localizar personas, u objetos que no tengan incluido un ordenador como por ejemplo sillas de ruedas.

2.3.3 ZIGBEE

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de comunicación de bajo consumo, basado en el estándar IEEE 802.15.4²⁰ (y última enmienda IEEE 802.15.4a²¹). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías, y la ZigBee Alliance se encarga de su supervisión (Tabla 2 y Figura 9).



Figura 9 Logo ZigBee

2.3.4 WI-FI

Los estándares IEEE 802.11²², también conocidos como WiFi, son protocolos de comunicaciones de mayor alcance y ancho de banda que el Bluetooth y ZigBee. La Wi-Fi Alliance regula, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares. (Tabla 2 y Figura 10).



Figura 10 Logo Wi-Fi

Como la solución Bluetooth, WiFi tiene la ventaja de poder proporcionar un canal de datos. Los receptores para IPS basados en WiFi son puntos de acceso comerciales desarrollados para asegurar que al menos tres de esos puntos de accesos pueden comunicarse siempre con un tag.

Entre las desventajas, cualquier dispositivo a localizar necesita el costoso radio WiFi en él. Las personas y muchos objetos valiosos dentro del hospital no están preparadas para el WiFi. Los tags son grandes, consumen mucha batería, algunos requieren una dirección IP para cada dispositivo a rastrear y todos radian mucha energía de RF, una potencial emisión de interferencia electromagnética (EMI).

La habilidad de localizar basada en WiFi es más sofisticada que la de Bluetooth porque el software realmente intenta aproximar la localización de un recurso o persona basándose en alguna característica de propagación. Un IPS basado en WiFi depende del radio fingerprinting para analizar las señales de RF, es decir, se necesita un calibrado previo del edificio y almacenar en una base de datos todas las intensidades recibidas para que el sistema sea más fiable. Estos sistemas son aún bastante nuevos y su exactitud tiene todavía que ser consistentemente demostrada y documentada. Debido a que el WiFi no fue diseñado para determinar una localización, muchas alternativas deben desarrollarse antes de que realmente pueda ser considerado una opción de posicionamiento en interiores.

2.3.5 ULTRA WIDE BAND (UWB)

Ultra Wide Band (UWB) es una plataforma de radio propuesta por WiMedia Alliance, basada en el estándar IEEE 802.15.3²³ (y última enmienda IEEE 802.15.3b²⁴ y IEEE 802.15.4a), que usa un gran ancho de banda para transmitir información. Para la



Figura 11 Logo WiMedia Alliance

estandarización de UWB han intervenido también Ecma International, ISO y ETSI ([Tabla 2](#) y [Figura 11](#)).

Como ventaja del sistema UWB, transmite poca energía, lo que es importante para dispositivos portátiles, mientras envía cantidades inmensamente grandes de datos. El UWB tiene un gran alcance, pudiendo llegar a los 100 metros atravesando incluso paredes de habitaciones. Además, la densidad de nodos lectores fijos es baja (con una celda de 4 nodos pueden cubrirse 400 m²) y los sistemas de posicionamiento basados en UWB cuentan con bastante buena precisión en propagación sin obstáculos (en torno a los 20 cm).

Entre las desventajas, el UWB es aún experimental y los sistemas son todavía muy costosos. Por otro lado, la precisión también se deteriora por multicamino, retardos y atenuaciones al atravesar obstáculos.

La señales radio transmitidas se comportan de un modo similar al radar, lo que permite la localización precisa de los transmisores. Como en los sistemas de localización basados en Bluetooth y en IEEE 802.11b, los dispositivos a ser localizados con UWB deben tener algún tipo de procesador en ellos para que el sistema funcione, lo que reduce la viabilidad de esas soluciones para dispositivos que no puedan conectarse a red alguna. Durante la próxima década es posible que el coste y el consumo de potencia se vean reducidos hasta el punto de poder considerar el UWB viable para un IPS.

2.3.6 Z-WAVE

Z-Wave es una tecnología propietaria de comunicación inalámbrica desarrollada por la empresa Zensys y el Z-Wave Alliance, y apoyada por Intel. Ha sido diseñada para aplicaciones que requieren bajo consumo y bajo ancho de banda²⁵ ([Tabla 2](#) y [Figura 12](#)).



Figura 12 Logo Z-Wave

2.3.7 ULTRASONIDOS

Se trata de soluciones que están también basadas en tags o etiquetas para los elementos a controlar, pero en este caso estos tags emiten o reciben ultrasonidos, es decir, ondas acústicas cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano (aproximadamente 20.000 Hz) ([Tabla 2](#) Comparativa de tecnologías IPS y [Figura 13](#)).



Figura 13 Dispositivo de ultrasonidos

Como ventaja, los ultrasonidos ofrecen una gran precisión (del orden del centímetro). Además, no interfieren o se dejan interferir por equipos emisores o receptores de RF, las señales de ultrasonidos no salen del recinto de la habitación y se trata de una solución económica (nodos de menos de 100 euros).

Entre sus inconvenientes cabe destacar que el lóbulo de emisión es bastante direccional y requiere una alta densidad de nodos en techos o paredes (aproximadamente 1 nodo por m²). Además, el ancho de banda de los transductores de ultrasonidos es limitado, por lo que complica la codificación de señales. Hay que señalar también que las soluciones de ultrasonidos deben incorporar además un emisor RF para envío de datos de ubicación y sincronización.

Existen también soluciones acústicas con señales “audibles” (15 kHz) en lugar de ultrasónicas que ofrecen mejoras en cuanto a la menor atenuación de la señal con la distancia (mayor alcance), mayor omnidireccionalidad de los lóbulos acústicos de emisión (mejor cobertura) y mayor ancho de banda de los transductores utilizados (codificación de señales acústicas)

2.3.8 INFRARROJOS

Infrared Data Association (IrDA)²⁶ define un estándar físico de transmisión y recepción de datos por rayos infrarrojos, que requieren línea de vista, en lugar de ondas de radio. Los estándares IrDA soportan una amplia gama de dispositivos eléctricos, informáticos y de comunicaciones ([Tabla 2](#) y [Figura 14](#)). Típicamente con un sistema basado en IR, se coloca un



Figura 14 Logo IrDA

receptor en cada localización en la que una persona u objeto debe ser encontrado. Un tag de IR emite luz, y si el objeto seguido está en la misma habitación que el receptor, se conoce su posición. Es decir, permite localización simbólica.

Las mayores ventajas de un sistema basado en IR son la sencillez, la disponibilidad general de soluciones y el fácil acceso a recursos de apoyo. Considerando la exactitud, los sistemas son literalmente binarios: el lector ve la luz del tag o no.

Una desventaja de los sistemas basados en IR es que debe haber un receptor en cada habitación donde ha de localizarse un aparato o persona, y esos receptores deben estar conectados con un cableado especial. Esta infraestructura especial hace costosa en tiempo y dinero la instalación y reconfiguración de sistemas IR. Otra desventaja es que si la señal IR es bloqueada (por ejemplo, por un albornoz o una manta), el sistema falla. Presentan también dificultades con las luces fluorescente y solar por su contenido en IR. Además, los tags tienden a consumir mucha potencia por lo que la duración de las baterías se acorta si las transmisiones son frecuentes.

Las soluciones IR pueden proporcionar exactitud de localización a nivel de habitación. Se pueden conseguir niveles mayores de exactitud limitando el área de recepción del receptor y colocando más receptores en el área en cuestión. Es imposible proporcionar un nivel de exactitud más allá del espacio encerrado.

2.3.9 VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial hace uso de la información recogida por cámaras y utilizan técnicas de procesamiento de imágenes para la identificación y seguimiento de objetos (Figura 15). Estos sistemas de visión empleados en identificación y localización pueden trabajar tanto con marcadores visuales (tags) como sin ellos.



Figura 15 Cámara de visión artificial

Las ventajas de estos sistemas residen en que no necesitan que los objetos o personas a localizar lleven ningún nodo ya que usan localización natural, y pueden estar basados en económicas webcams. El procesamiento de imágenes aumenta su precisión usando siluetas, color de piel y patrones de caras.

Por otro lado, la visión artificial cuenta con las desventajas del alto procesamiento requerido, difícil escalabilidad del sistema y fallos de interpretación en escenas complejas. Además, requiere línea de visión libre entre cámara y objeto a seguir.

En la **Tabla 2** se presenta un resumen comparativo de las tecnologías IPS en cuanto a frecuencia, alcance y duración de la batería:

Comparativa de tecnologías IPS									
	RFID-Pasivo	RFID-Activo	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi	UWB	Z-Wave	Ultra-sonidos	Infra-rojos
Frec.	125 KHz-2.45 GHz	433 MHz-5.8 GHz	2.45 GHz	868/915 MHz, 2.45 GHz	2.4 GHz, 4.9 GHz, 5 GHz	3.1-10.6 GHz	915 MHz	Ultra-sonidos	Infra-rojos
Alcance	10 cm-1 m	10-500 m	3-10 m	10-75 m	100 m	10-100 m	30 m	8 m	5 cm-1 m
Duración batería	Sin batería	2-10 años	1 día-6 meses	días-meses	días-años	meses	días-meses	días-meses	6 meses-2 años

Tabla 2 Comparativa de tecnologías IPS

La tecnología de visión artificial no aparece comparada en la tabla puesto que está basada en capturas de imágenes, su alcance es el de la línea de visión y al no precisar necesariamente de marcadores visuales (tags) no tiene por qué necesitar baterías.

2.4 COMPARATIVA DE ALGORITMOS IPS

A continuación se hace una comparativa de los distintos algoritmos asociados al posicionamiento en interiores que, mediante la medición de las variables físicas estudiadas, realizan el cálculo de la posición de la persona u objeto rastreado:

2.4.1 TRILATERACIÓN

La trilateración popularmente suele confundirse con la triangulación. A diferencia de ésta, que usa ángulos, la trilateración emplea tan sólo distancias para estimar la posición de un objeto en un plano bidimensional.

Para llevar a cabo esta tarea, se calcula la distancia a la que se encuentra el objeto buscado por parte de al menos 3 antenas, las cuales trazan circunferencias sobre las que se encuentra el punto de medición. Dos circunferencias que interseccionan lo hacen en uno o dos puntos; un tercer nodo describe una tercera circunferencia que determina el punto donde se encuentra el objeto.

Estas distancias pueden calcularse basándose en el principio de que las señales RF se vuelven más débiles cuanto más lejos viajen. Si puede saberse con precisión la potencia de la señal enviada y recibida, y la pérdida de camino es conocida, puede calcularse la distancia al tag.

La trilateración elimina la necesidad de la precisa sincronización temporal de los receptores, a la vez que elimina también las limitaciones de las soluciones que requieren señales con línea de visión directa. La no sincronización es importante porque significa que los receptores pueden conectarse a una existente Ethernet estándar; no se requiere cableado especial.

Además, el uso de la trilateración reduce la necesidad de la precisa y frecuente calibración del sistema, tanto en la instalación y posteriormente, lo que significa que el sistema es fácil de instalar y reconfigurar.

La trilateración es una técnica efectiva de análisis de RF para el cuidado de la salud. Aporta a la localización exactitud y reduce coste y complejidad de instalación. No hay cuestiones sobre interferencia, los receptores pueden moverse sin interrumpir el sistema total y pueden rastrearse señales RF de tags en personas y objetos.

2.4.2 TRIANGULACIÓN

La triangulación está basada en la medida del AOA (Angle of Arrival) o ángulo de llegada de una señal a una antena receptora. El algoritmo hace uso de varios nodos fijos cuya posición es conocida. Cada nodo fijo ha de ser capaz de determinar la dirección (ángulo) en la que se encuentra el punto a determinar.

Para llevar a cabo esta tarea se emplea una antena direccional capaz de captar las emisiones radioeléctricas que se emiten en puntos distantes siempre en la dirección a la que se oriente dicha antena. Si se capta con una antena direccional la señal que emite el objeto a localizar, se conocerá la dirección sobre la que se encuentra respecto al nodo de referencia, aunque no podrá determinarse por este método la distancia a la que se encuentra. Para ello se emplea una segunda antena direccional ubicada a una distancia conocida del primer nodo. Dicha antena determina de nuevo la dirección relativa sobre la que se encuentra el punto a localizar. Conociendo las dos direcciones relativas a ambos nodos en las que se encuentra el objeto a posicionar pueden trazarse dos rectas (con origen en dichos nodos) que interseccionarían en el emisor. Sendas rectas, junto con la que une los dos nodos que intervienen en el proceso, conforman los lados de un triángulo. La distancia entre los nodos es un parámetro conocido, por lo que determina de por sí la longitud de uno de los lados del triángulo. Se conocen también los ángulos contiguos a dicho lado, por lo que aplicando simples operaciones trigonométricas se es capaz de calcular la distancia de los nodos al punto incógnita y esto implica automáticamente la posibilidad de posicionar en el plano el punto objetivo. Si dicho punto estuviera justo en la recta de unión de dos nodos que intervienen en la medición, el resultado no sería concluyente y habría que emplear un tercer nodo para obtener los resultados deseados.

Puede realizarse una triangulación, en vez de con una antena direccional, con un conjunto de antenas capaces de determinar diferentes TDOAs junto con un AoA para cada antena y así estimar las direcciones.

2.4.3 MULTILATERACIÓN

Algoritmo basado en la medida de diferencias de tiempos (DTOA, Time Difference of Arrival) de llegada de una misma señal radioeléctrica a un conjunto de antenas receptoras. No es necesario en este caso conocer los tiempos de llegada; tan sólo basta con conocer la diferencia de dichos tiempos. Para ello se parte del principio que defiende que debido a la diferencia de distancias que existe entre las antenas respecto al punto de medición, los tiempos de retardo de las señales captadas por el emisor son diversos. Como las señales radio viajan a una constante y conocida velocidad de la luz, y la distancia se calcula multiplicando por el tiempo, las distancias entre tag y lectores pueden ser calculadas conociendo las diferencias de tiempos de propagación de las señales.

Para calcular dichas diferencias de tiempo, una de las técnicas aplicables consiste en medir las diferencias de fase de la señal en cada una de las antenas receptoras.

Una vez instalado y calibrado correctamente, un sistema de multilateración de diferencia de tiempos puede ser preciso y exacto. Las inexactitudes en interiores ocurren debido a que la señal radio no viaja en línea recta desde el transmisor a la antena, sino que rebota en paredes, techos y suelos, fenómeno conocido como multitrayecto (del inglés multipath). Varias técnicas desarrolladas para compensar el multitrayecto permiten que la precisión de esos sistemas sea de uno a tres metros, una ventaja clave.

Las desventajas de estas soluciones son los gastos y la complejidad. La velocidad de la luz es de 300.000.000 metros por segundo. Para conseguir un metro de exactitud, la precisión de reloj debe ser de alrededor de 3 nanosegundos. Para conseguir este alto grado de precisión temporal, los sistemas de multilateración de diferencia de tiempos típicamente conectan sus antenas a bases de tiempos con cables coaxiales. Esto es muy difícil, invasivo y costoso de instalar. La precisión temporal hace de estas soluciones una de las más caras de adquirir e instalar.

2.4.4 RADIO FINGERPRINTING

El radio fingerprinting es una técnica relativamente nueva que está basada en la suposición de que un entorno RF apenas cambia durante cortos periodos de tiempo. Se lleva a cabo una

medición del lugar que guarda la potencia de las señales de radio desde varias localizaciones del hospital u hogar. Cuando se necesita la localización de una señal radio, un ordenador estima la localización comparando la potencia de esa señal radio con las mediciones hechas sobre el entorno RF, o “huella digital”.

La ventaja de esta solución es que usa puntos de acceso estándares así que, si hay ya una LAN inalámbrica instalada, dondequiera que se necesite localizar un aparato implica una mínima adición de hardware.

Las desventajas de estas soluciones incluyen el hecho de que se requiere una mayor densidad de puntos de accesos para localización que para transmisión estándar de datos. Además, la instalación requiere mucho tiempo y los aparatos a ser rastreados deben tener una tarjeta de LAN inalámbrica y estar encendidos. Esto hace el rastreo de pacientes, personal o recursos no conectados a ninguna red (tal como IV pumps) difícil, si no imposible. Cualquier tag independiente debe, por definición, cumplir con la LAN inalámbrica (típicamente 802.11b), lo que sube el precio y el consumo de potencia. En este momento, los precios de software para estas soluciones son aún bastante elevados y la precisión del sistema apenas está documentada. Además, se necesita un calibrado previo del edificio y almacenar en una base de datos todas las intensidades recibidas para que el sistema sea más fiable.

Existen muchas cuestiones en torno a la precisión, exactitud y fiabilidad en el uso de radio fingerprinting para analizar señales RF en localización. Las más significativas conciernen al rebote de la señal en paredes, techo y suelo, la posibilidad de interferencia electromagnética y la incapacidad de los tags para ser usados en pacientes.

2.4.5 CONECTIVIDAD

El algoritmo de conectividad está basado en la medida de proximidad, donde se mide si el emisor se encuentra o no dentro de un rango fijo de cobertura, pero no puede conocerse a qué distancia. Se asigna, por ejemplo, al nodo desconocido la posición del nodo que le ha detectado. Por tanto, este algoritmo no proporciona una localización física, si no simbólica.

3

Metodologías



3 METODOLOGÍAS

El diseño y desarrollo de este Proyecto Fin de Carrera se hecho siguiendo las siguientes metodologías:

3.1 DESARROLLO EN ESPIRAL

El Desarrollo en Espiral es un modelo de ciclo de vida definido por Barry Boehm en 1988 en su artículo *A Spiral Model of Software Development and Enhancement*²⁷, utilizado generalmente en la Ingeniería de software. Las actividades se modelan como una espiral, donde cada bucle es una actividad. Comenzando por el bucle interior, las actividades no están fijadas a priori, sino que se van eligiendo en función del análisis de riesgo. Para cada actividad hay cuatro tareas (Figura 16):

- **Determinación de objetivos:** planificación previa o inicial (sólo una vez), definición de resultados a obtener, requisitos y especificaciones, fijación de restricciones e identificación de riesgos del proyecto y estrategias alternativas para evitarlos.
- **Análisis del riesgo:** estudio de todos los riesgos potenciales y selección de una o varias alternativas propuestas para reducir o eliminar dichos riesgos.
- **Desarrollo, verificación y validación:** Realización de tareas de la propia actividad y pruebas. Análisis de alternativas y dependiendo del resultado de la evaluación de riesgos, elección de un modelo de desarrollo.
- **Planificación:** Revisión y evaluación de todo lo realizado, y decisión de continuar o no con las siguientes fases. En caso de continuar, planificación de la próxima actividad.

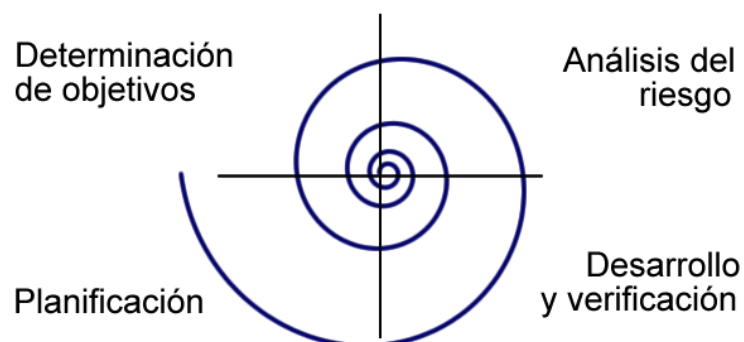


Figura 16 Modelo en espiral

3.2 CONTINUOUS INTEGRATION

Continuous Integration es una metodología propuesta inicialmente por Martin Fowler²⁸ que consiste en hacer integraciones automáticas de un proyecto lo más a menudo posible para así poder detectar fallos cuanto antes. Entendemos por integración la compilación y ejecución de tests de todo un proyecto. El proceso suele ser, cada cierto tiempo, descargarse las fuentes desde el gestor de versiones (por ejemplo CVS, Subversion o Visual SourceSafe) compilarlo, ejecutar tests y generar informes. Para esto se utilizan aplicaciones como Continuum, CruiseControl o Anthill (para proyectos Java) o CruiseControl.Net para .Net, que se encargan de controlar las ejecuciones, apoyadas en otras herramientas como Ant o Maven (también para proyectos Java), o Nant (para .Net) que se encargan de realizar las compilaciones, ejecutar los tests y realizar los informes. A menudo la integración continua está asociada a las metodologías de programación extrema y desarrollo ágil, y permite:

- Reducción del tiempo de integración.
- Detección de errores lo más pronto posible.
- Testeos inmediatos tras un cambio en el código.
- Disponibilidad continua de la última versión del código para test, demos, etc.

El uso de Continuous Integration tiene principalmente tres objetivos:

INTEGRACIÓN

En un ambiente de desarrollo distribuido, donde mucha gente desarrolla diferentes trozos de código es muy común que muchos fallos desconocidos aparezcan cuando estas partes se integran definitivamente en un ambiente único. En un proceso de desarrollo estándar esta fase de integración de código tiene lugar al final del proyecto, por lo que es en este momento cuando se conoce el estado real del proyecto y el tiempo que resta para finalizarlo.

Continuous Integration ofrece una solución completa a este problema porque elimina la integración retrasada. Siguiendo las prácticas de Continuous Integration cada pieza de código desarrollada se incluye inmediatamente en un ambiente integrado donde se puede comprobar si el código funciona o no. Debido a esto es posible conocer en qué punto del proyecto se está, qué funciona y qué no funciona; y con este conocimiento se puede predecir cuánto tiempo llevará finalizar.

FEEDBACK CONTINUO

Cuando se sigue un proceso de integración final en un proyecto resulta muy complicado construir una aplicación que pueda ser utilizada para obtener feedback, porque sólo al final del proceso estarán disponibles todas las piezas necesarias para ejecutar la aplicación.

El feedback continuo se necesita para ayudar a los desarrolladores en su trabajo. Repasando proyectos de software completos los desarrolladores pueden ver dónde se equivocaron, pero normalmente es demasiado tarde (más costoso en tiempo y trabajo) para realizar cambios. Se necesita feedback a mitad del trabajo para detectar tan pronto como sea posible malentendidos entre el equipo de desarrolladores y los usuarios finales (especificaciones).

Continuous Integration ofrece la plataforma donde las aplicaciones pueden ser construidas cuando se realiza código nuevo. Este ambiente se emplea para obtener feedback continuo desde las primeras fases del proyecto.

DETECCIÓN TEMPRANA DE ERRORES

Continuous Integration no se libra de los errores, pero los convierte en mucho más fáciles de encontrar y eliminar. Cuando se introduce un error y es rápidamente detectado, es mucho más fácil eliminarlo. Ya que sólo una pequeña parte del código se ha cambiado, no es necesario revisarlo todo. Además, como se trata del último trozo de código sobre el que se ha trabajado, está fresco en la memoria del desarrollador –otra vez resulta más fácil encontrar el error. Se puede realizar también una depuración diferencial, comparando la versión actual del sistema con la previa que no tenía el error.

Los errores son también acumulativos. Cuantos más haya, resulta más difícil eliminar cada uno de ellos. Esto se debe en parte a las interacciones de los errores, donde los fallos se muestran como el resultado de múltiples defectos.

Como resultado, los proyectos con Continuous Integration suelen tener muchos menos errores, tanto en producción como en proceso. De todos modos, se debe destacar que el grado de este beneficio está directamente unido a la calidad de las pruebas. Lleva algún tiempo que un equipo alcance el nivel mínimo de errores que puede obtener. Llegar a este punto supone un trabajo continuo y mejora de las pruebas.

4

Tecnologías



4 TECNOLOGÍAS

4.1 RFID-ACTIVO

El propósito fundamental de la tecnología RFID (Radio Frequency Identification) es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio, por lo que no se requiere visión directa entre emisor y receptor como, por ejemplo, con infrarrojos. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas Auto ID (Automatic Identification).

Una etiqueta o tag RFID es un dispositivo pequeño que puede ser adherido o incorporado a un producto, animal o persona. Contienen antenas para permitirles recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID. Los tags RFID-Pasivo no necesitan alimentación eléctrica interna, mientras que los RFID-Activo sí lo requieren.

A pesar de que los tags pueden ser mayores y más caros que los tags RFID-Pasivo, la gran ventaja del **RFID-Activo** es la habilidad de transmitir a distancias mayores (de 10 a 500 metros). Además, los tags RFID-Activo no necesitan estar cerca o entrar en contacto físico con los lectores y no se requiere interacción del usuario para leer la información del tag.

Los sistemas RFID-Activo son de los más efectivos para identificación y localización de personas y objetos que se mueven frecuentemente y sobre grandes distancias en interiores. El mayor rango de lectura, la fuente de energía y la mayor simpleza y menores costes de los receptores hacen que se califique a los sistemas RFID-Activo como IPS ya que son continuos, esencialmente de tiempo real y efectivos a una distancia razonable.

Basándonos en las cualidades definidas como importantes en el ámbito de la salud, en la definición de un verdadero sistema de posicionamiento en interiores y buscando una solución que pueda ser fácilmente instalada, ampliada y mantenida de forma asequible el proyecto está basado en una combinación de **RFID-Activo** y **trilateración** con tres antenas lectoras ([Figura 17](#)), mediante el uso de la medida aproximada de rangos por intensidad de la señal recibida, **RSSI** (Received Signal Strength Indicator), proporcionada por la tecnología RFID.

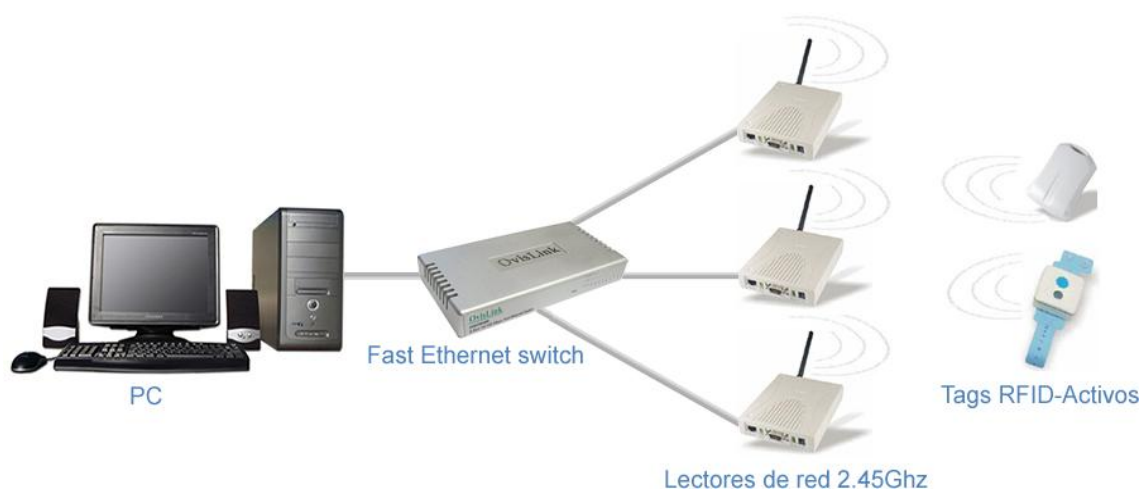


Figura 17 Diseño sistema localización e identificación

Los dispositivos RFID, de la firma SYRIS, utilizados durante la realización del Proyecto Fin de Carrera y que se citarán más adelante, son los siguientes (Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6):

	Modelo:	SYRD245-1N
	Identificación:	Reader 0077/0078/0079
	Descripción:	Modelo con antena externa y conectividad Ethernet, RS-232 y RS-485

Tabla 3 Lector SYRD245-1N


	Modelo:	SYTAG245-TM
	Identificación:	Tag=0001000107193044
	Descripción:	Tag tipo pulsera con pulsador y opción de sensores de temperatura

Tabla 4 Tag SYTAG245-TM

	Modelo:	SYTAG245-2K
	Identificación:	Tag=0001000107161021
	Descripción:	Tag tipo llavero con pulsador

Tabla 5 Tag SYTAG245-2K

	Modelo:	SYTAG245-2S
	Identificación:	Tag=0001000107192040
	Descripción:	Tag tipo llavero sin pulsador

Tabla 6 Tag SYTAG245-2S

4.2 JAVA

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado por Sun Microsystems²⁹ (Figura 18) a principios de los años 1990. El lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++, pero tiene un modelo de objetos más simple y elimina herramientas de bajo nivel como punteros.

Las aplicaciones Java están típicamente compiladas en un bytecode, aunque también es posible la compilación en código máquina nativo. En el tiempo de ejecución, el bytecode es normalmente interpretado o compilado a código nativo para la ejecución, aunque la ejecución directa por hardware del bytecode por un procesador Java es también posible.



Figura 18 Logo
Java Sun
Microsystems

La razón por la que se ha hecho la elección de este lenguaje para el desarrollo de este proyecto es que Java es un lenguaje multiplataforma y, por tanto, puede ser usado virtualmente en cualquier entorno hardware y software. Además, se trata de un lenguaje moderno, potente, orientado a objetos y estándar de facto en el desarrollo de aplicaciones, lo que permite integrarlo fácilmente en otras aplicaciones.

4.3 MICROSOFT VISIO

Microsoft Visio es un conjunto de software de dibujo vectorial para Microsoft Windows que forma parte de las aplicaciones del paquete ofimático Microsoft Office.

Las herramientas que lo componen permiten realizar diagramas de bases de datos, diagramas de flujo de programas, UML, etc. que permiten iniciar al usuario en los lenguajes de programación.

Microsoft Visio facilita la visualización, el análisis y la comunicación de información compleja. Permite el paso de texto y tablas donde la interpretación de la información es complicada a diagramas que comunican información de un vistazo. Para ello proporciona al usuario una amplia variedad de diagramas para comprender, procesar y compartir información sobre sistemas, recursos y procesos organizativos.

4.4 ADOBE FIREWORKS

Adobe Fireworks es una aplicación en forma de estudio (basada, por supuesto, en la forma de estudio de Adobe Flash), pero más parecido a un taller destinado al manejo híbrido de gráficos vectoriales con gráficos en mapa de bits, y que ofrece un ambiente eficiente tanto para la creación rápida de prototipos de sitios Web e interfaces de usuario, como para la creación y optimización de imágenes para Web. Originalmente fue desarrollado por Macromedia, compañía que fue comprada en 2005 por Adobe Systems.

Fireworks está enfocado en la creación y edición de imágenes para Internet, pero es muy útil también para la creación de logos, gráficos y diagramas que permitan una más ágil visualización de modelos y simplifiquen la comprensión de problemas.

5

Módulo de adquisición



5 MÓDULO DE ADQUISICIÓN

El Módulo de adquisición es el encargado de comunicarse con los lectores, analizar y tratar los datos recibidos, y entregar al Algoritmo de posicionamiento la información necesaria para el servicio de localización e identificación.

5.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

La comunicación entre el PC (host) y los lectores se realiza mediante una **conexión TCP** bajo un **protocolo de Comandos y Respuestas** creado por el fabricante, que se describe a continuación.

5.1.1 DESCRIPCIÓN DE PROTOCOLO

FORMATO DE PAQUETE

- **Comando: Host(PC) -> SYRD245**
STX[01] + INS + { DATA } + BCC + END[0D]
- **Respuesta: SYRD245 -> Host(PC)**
STX[02] + INS + { DATA } + BCC + END[0D]

FORMATO DE PAQUETE DE RED

- **Comando : Host(PC) -> SYRD245**
STX[01] + ID₁ + {ID₂ + ID₃ + ID₄} + INS + { DATA } + BCC + END[0D]
- **Respuesta : SYRD245 -> Host(PC)**
STX[02] + ID₁ + {ID₂ + ID₃ + ID₄} + INS + { DATA } + BCC + END[0D]

A excepción de los campos STX y END, que tienen formato byte, el resto de campos de los paquetes tienen formato ASCII.

Por campos, los paquetes de Comando y Respuesta se subdividen en:

- **Comando : Host(PC) -> SYR245**

STX + INS + { DATA } + BCC + END

STX : [01]

INS : Instrucción de un carácter

DATA : n bytes de datos o ninguno (en formato hexadecimal)

BCC : STX xor INS xor {DATA1 xor xor DATAn} (en formato hexadecimal)

END : [0D]

- **Respuesta : SYRD245 -> Host(PC)**

STX + INS + { DATA } + BCC + GND

STX : [02]

INS : Instrucción de un carácter

DATA : n bytes de datos o ninguno (en formato hexadecimal)

BCC : STX xor INS xor {DATA1 xor xor DATAn} (en formato hexadecimal)

END : [0D]

5.1.2 FUNCIONES

A través del campo INS cada paquete de Comando o Respuesta puede tener una función determinada. A modo de resumen ([Tabla 7](#)):

Resumen de funciones		
INS	Función	Descripción
"A"	Modo de envío automático de datos de tag	Envía automáticamente datos de tag
"B"	Configurar tipo de acción	Configura el tipo de acción del lector
"C"	Leer datos de tag	Lee datos de tag en buffer de lector
"D"	Leer SN de tag	Lee el número de serie de tag en buffer lector
"E"	Configurar comando de tag	Configura comando de tag
"M"	Configurar modo de puerto de envío	Configura la interfaz de puerto
"N"	Configurar filtro de nivel de RSSI	Configura el filtro de nivel de RSSI
"S"	Leer SN de lector	Lee el número de serie del lector
"T"	Identificación de red de lector	Lee/escribe la identificación de red de lector
"U"	Datos de usuario de lector	Lee/escribe datos de usuario de lector
"V"	Leer versión de firmware	Lee la versión de firmware del lector
"Y"	Velocidad de transferencia de comunicación	Velocidad de transferencia de lector

Tabla 7 Resumen de funciones protocolo de comunicación

Por expresa voluntad del fabricante, no pueden ofrecerse más detalles acerca del protocolo de comunicación por motivos de confidencialidad.

5.2 PROCESO DE ADQUISICIÓN

El proceso de captura y tratamiento de datos del Módulo de adquisición se lleva a cabo a través de los siguientes pasos:

1. Creación del servidor **Server**. El servidor será el encargado de crear los lectores, las conexiones TCP con los clientes lectores y los almacenes de lectores y tags activos, y de arrancar las hebras de control de cada lector.
2. Creación del almacén de lectores **ReaderRepository**. En él permanecerán depositados los lectores creados.
3. Creación de 3 lectores **Readers**. Cada Reader es un cliente TCP que abre una conexión con el servidor Server. Pueden crearse el número de Readers necesarios, pero en nuestro caso de estudio, el número de Readers creados es 3.
4. Creación de 3 almacenes de medidas de tags **TagRepository**, uno por cada Reader creado. Se trata de una serie de tablas anidadas, de la forma `Hashtable<String, ArrayList<Object[]>>`, donde se irán almacenando los números de serie de identificación de tags detectados por cada Reader, así como las medidas que los tags vayan enviando.
5. Creación de almacén de tags activos **activeTags**. Se trata de una lista sincronizada `ArrayList<String>` donde irán depositándose los números de serie de identificación de tags activos que vayan detectándose desde el comienzo de la ejecución hasta la finalización de la misma.
6. Creación de la hebra de control **ControlReaderThread**. La hebra `ControlReaderThread` será la encargada de inicializar, configurar y dar la orden de lectura a cada uno de los Readers creados.

7. Inicialización de los Readers. La hebra `ControlReaderThread` inicializa los 3 Readers, de forma que puedan comenzar a enviar y recibir datos.
8. Configuración de los Readers. La hebra `ControlReaderThread` configura los 3 Readers con los valores y modos por defecto para el tipo de comunicación deseada. Prepara a los Readers para las acciones que vienen a continuación.
9. Orden de lectura a los Readers. A partir de este momento, los lectores comenzarán a recibir flujos de datos de los tags y comenzarán a enviárselos al host.
10. Creación de 3 hebras de escucha **ListenThread**. Con la orden de lectura a los Readers y el correspondiente comando enviado a los lectores, se crean 3 hebras `ListenThread`, una por Reader. Esta hebra será la encargada de interpretar los flujos de datos recibidos y de irlos insertando en el `TagRepository` del Reader correspondiente.
11. Creación de hebra **AlgorithmThread** por cada tag activo detectado, paralelamente a la creación de las hebras de escucha `ListenThread`. Mediante un mecanismo de comprobaciones, se arrancará la hebra `AlgorithmThread` sólo si el tag no estaba activo todavía (en lista `activeTags`) para evitar duplicados y si el tag había sido detectado por los 3 lectores (los `TagRepository` de los 3 Readers han de contener una entrada con el número de serie de identificación del tag) para asegurarse el tener en todo momento 3 medidas (una por lector) de cada tag. La hebra `AlgorithmThread` crea, por lo tanto, un archivo de texto, en tiempo real, por cada tag detectado por los 3 lectores, con las medidas recibidas para ese tag de cada uno de los lectores. Continúa almacenando medidas en ese archivo hasta que finaliza la ejecución del programa.

5.3 ARQUITECTURA SOFTWARE

De modo esquemático, la arquitectura de software del Módulo de adquisición puede representarse de la siguiente forma ([Figura 19](#)):

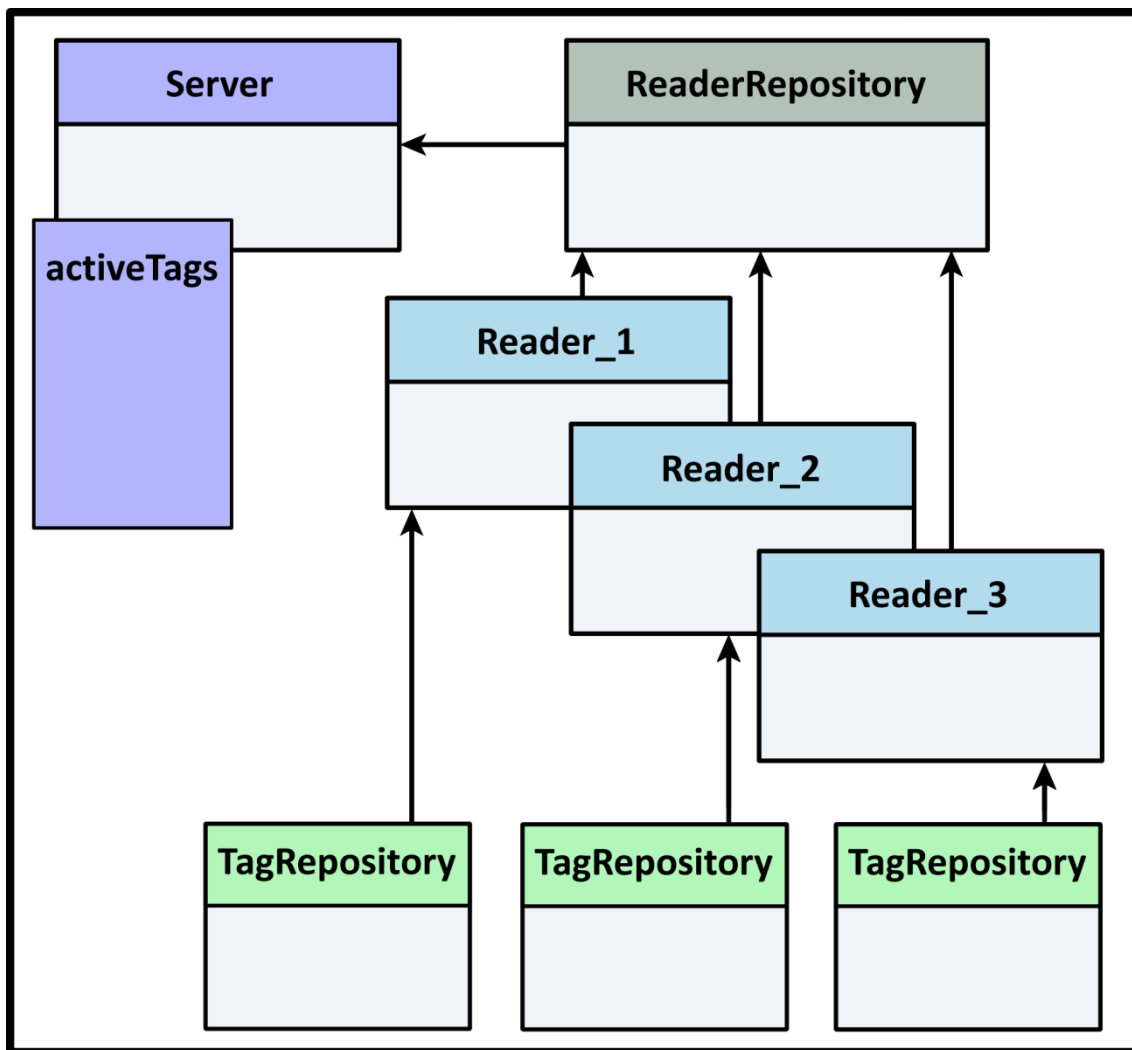
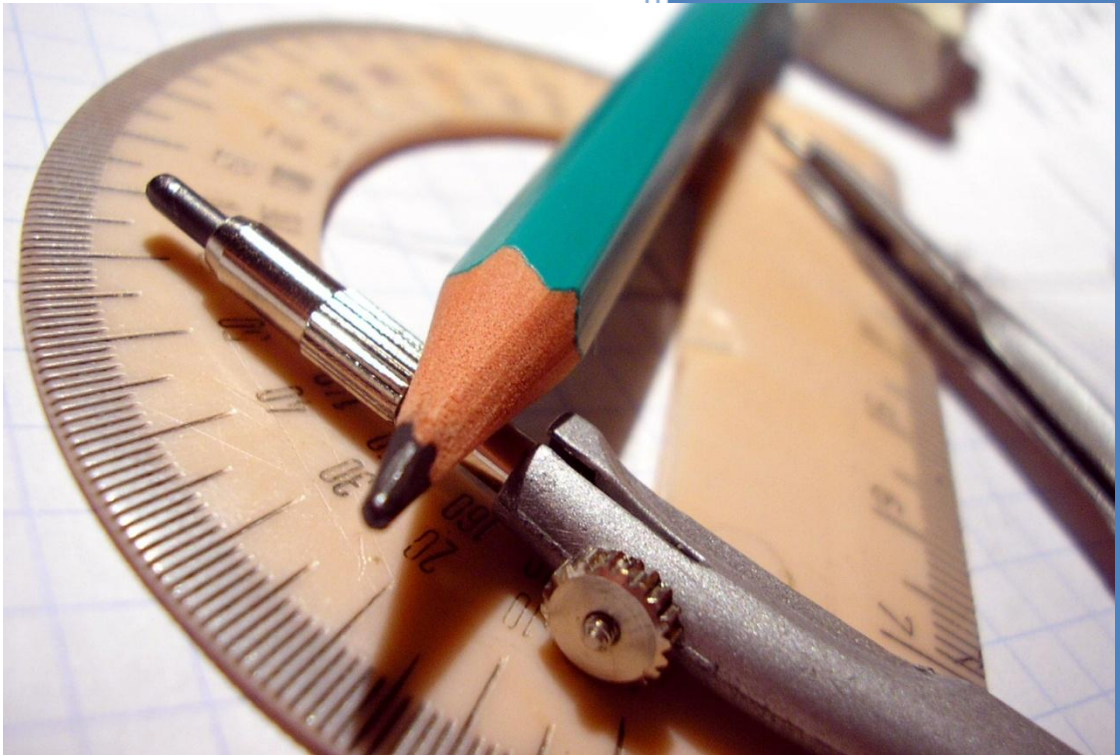


Figura 19 Arquitectura software de Módulo de adquisición

Algoritmo de posicionamiento



6 ALGORITMO DE POSICIONAMIENTO

El Algoritmo de posicionamiento proporciona el servicio de localización e identificación a partir de los datos generados por el Módulo de adquisición.

6.1 MODELO TEÓRICO

6.1.1 CÁLCULO DE COORDENADAS

El Algoritmo de posicionamiento está basado en el método de **trilateración**. La trilateración emplea tan sólo distancias para estimar la posición de una persona u objeto en un plano bidimensional. Para ello, se calcula la distancia a la que se encuentra la persona u objeto por parte de al menos tres lectores, los cuales trazan circunferencias sobre las que se encuentra el punto de medición. Dos circunferencias que interseccionan lo hacen en uno o dos puntos; un tercer nodo describe una tercera circunferencia que determina el punto donde se encuentra la persona u objeto. Es decir, a partir de tres distancias conocidas d_{AP} , d_{BP} y d_{CP} entre tres lectores y el punto de medición, estima su posición (x_P, y_P) (Figura 20).

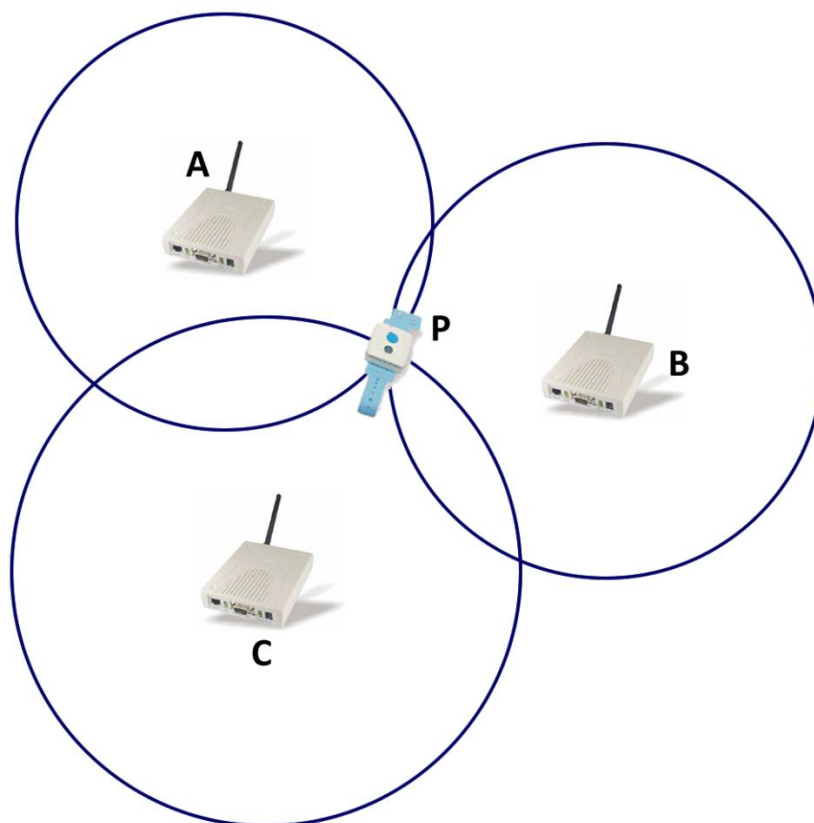


Figura 20 Ejemplo de uso de trilateración

Se trata de una derivación de la solución del problema de trilateración tridimensional donde se toman las fórmulas de tres esferas y se igualan. Para ello, se debe aplicar tres limitaciones a los centros de estas esferas: todas deben estar en el plano $z=0$, una debe estar en el origen, y otra en el eje x . Es posible, sin embargo, trasladar cualquier conjunto de tres puntos para cumplir con estos límites, encontrar el punto solución, y luego invertir la traslación para encontrar el punto solución en el sistema de coordenadas original.

Estando en P , se quiere conocer su posición relativa a los puntos de referencia A , B , y C en un plano bidimensional. Al medir d_{AP} se reduce la posición a un círculo. A continuación, midiendo d_{BP} , se reduce a dos puntos, P y Q . Una tercera medición, d_{CP} , devuelve las coordenadas en P , (x_p, y_p) . Una cuarta medición también puede hacerse para reducir y estimar el error (Figura 21).

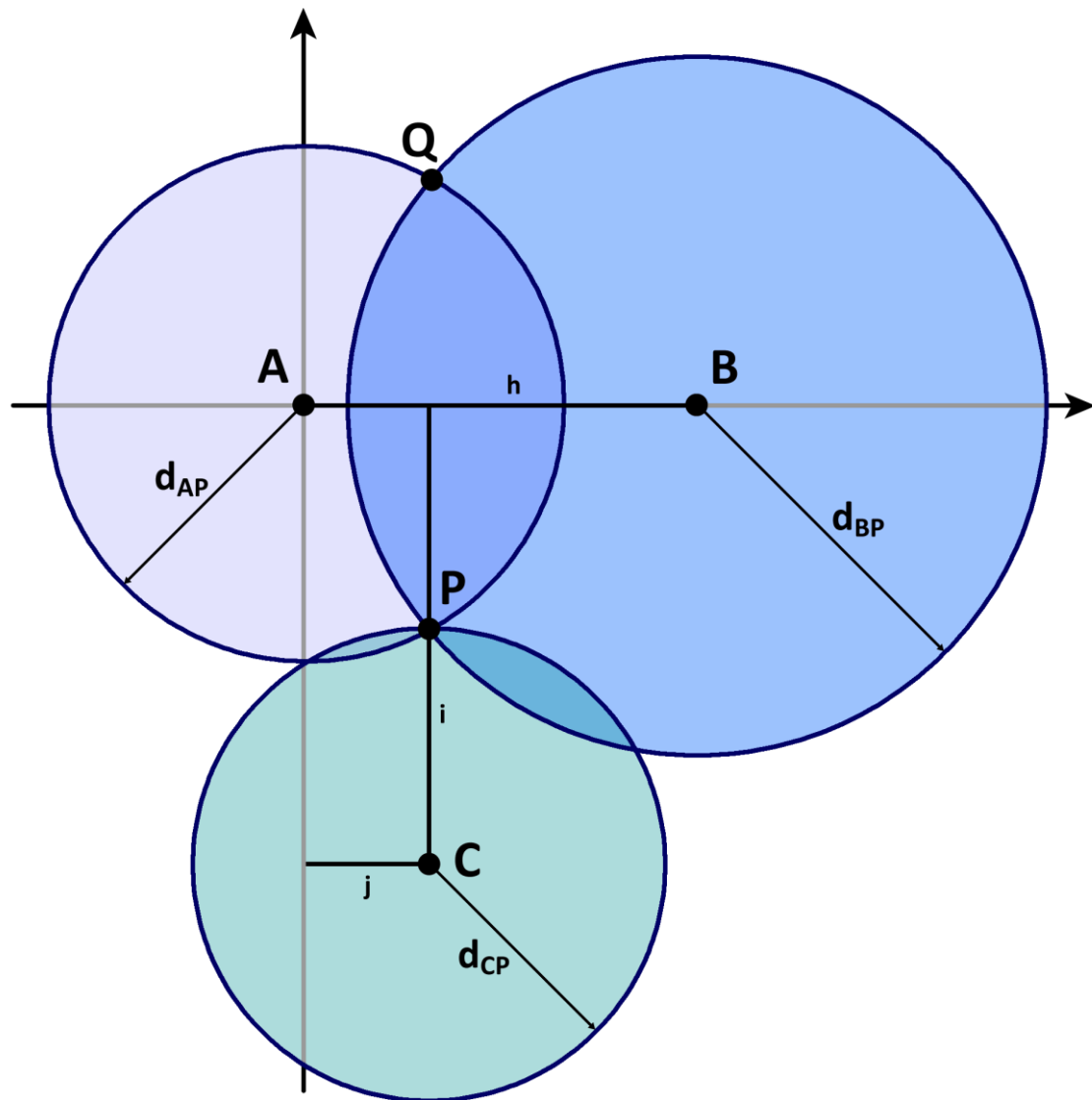


Figura 21 Gráfico descriptivo de algoritmo de trilateración

Matemáticamente, se procede así. Partiendo de las ecuaciones de las tres esferas,

$$d_{AP}^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

$$d_{BP}^2 = (x - h)^2 + y^2 + z^2$$

y

$$d_{CP}^2 = (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2$$

Se resta la segunda a la primera y se resuelve para x :

$$x = \frac{d_{AP}^2 - d_{BP}^2 + h^2}{2h}$$

Al sustituir x en la fórmula de la primera esfera se obtiene la fórmula de un círculo, la solución a la intersección de las dos primeras esferas:

$$y^2 + z^2 = d_{AP}^2 - \frac{(d_{AP}^2 - d_{BP}^2 + h^2)^2}{4h^2}$$

Igualando esta fórmula a la fórmula de la tercera esfera, se obtiene y :

$$y = \frac{d_{AP}^2 - d_{CP}^2 - x^2 + (x - i)^2 + j^2}{2j} = \frac{d_{AP}^2 - d_{CP}^2 + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x$$

Ahora, con las coordenadas x e y del punto solución, simplemente se despeja z de la fórmula de la primera esfera:

$$z = \sqrt{d_{AP}^2 - x^2 - y^2}$$

Se obtiene así la solución para los tres puntos x , y , z . Ya que z se expresa en forma de raíz cuadrada, es posible que tenga una o dos soluciones, o sea cero.

Esta última parte puede visualizarse como tomar el círculo formado por la intersección de la primera y segunda esferas y crear luego su intersección con la tercera. Si ese círculo queda totalmente fuera de la esfera, z es igual a la raíz cuadrada de un número negativo: no existe una solución real. Si ese círculo toca la esfera exactamente en un punto, z es igual a cero. Si,

por último, el círculo toca la superficie de la esfera en dos puntos, entonces z es igual a más/menos la raíz cuadrada de un número positivo.

En el caso de no haber solución, no poco probable cuando los datos presentan ruido, la solución más aproximada es cero. No obstante, habría de asumirse el valor cero sólo cuando el error sea apropiadamente pequeño.

En el caso de dos soluciones, pueden usarse técnicas para desambiguar entre las dos. Esto puede hacerse matemáticamente, mediante el uso de una cuarta esfera con su centro localizado fuera del plano formado por los centros de las otras tres, y determinando qué punto cae más cercano a la superficie de esta esfera. O puede hacerse lógicamente —por ejemplo, el GPS asume que el punto que cae dentro de la órbita de los satélites es el correcto cuando se enfrenta a esta ambigüedad, ya que es generalmente seguro asumir que el usuario no está nunca en el espacio, fuera de las órbitas de los satélites.

6.1.2 CÁLCULO DE DISTANCIAS

El cálculo de las distancias d_{AP} , d_{BP} y d_{CP} se realiza en base a las **pérdidas básicas de propagación en espacio libre**. Se trata de las pérdidas que sufre la onda electromagnética al propagarse en condiciones de espacio libre, sin obstáculos, en línea recta con visión directa entre las antenas. Independientes de las antenas, estas pérdidas se deben a que la onda electromagnética al propagarse se atenúa según la ley del cuadrado inverso de la distancia, y la ecuación que lo define es

$$L_p = \left(\frac{4\pi \cdot d_{AP}}{\lambda} \right)^2$$

La relación, por tanto, entre potencias y distancia puede expresarse como

$$PW_A = \frac{PW_P \cdot G_P \cdot G_A}{\left(\frac{4\pi \cdot d_{AP}}{\lambda} \right)^2} \rightarrow d_{AP} = \frac{\sqrt{PW_P \cdot G_P \cdot G_A}}{\sqrt{PW_A} \cdot \frac{4\pi}{\lambda}}$$

En decibelios,

$$X_{db} = 10 \log_{10} X$$

la relación puede quedar como

$$PW_{AdB} = PW_{PdB} + G_{PdB} + G_{AdB} - 20 \log_{10} \frac{4\pi \cdot d_{AP}}{\lambda} \rightarrow$$

$$\rightarrow d_{AP} = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{-\left(\frac{PW_{AdB} - PW_{PdB} - G_{PdB} - G_{AdB}}{20}\right)}$$

donde PW_A = potencia recibida en A

PW_P = potencia del transmisor P

G_A = ganancia de la antena receptora A

G_P = ganancia de la antena transmisora P

d_{AP} = distancia de separación entre A y P

λ = longitud de onda a la frecuencia de trabajo

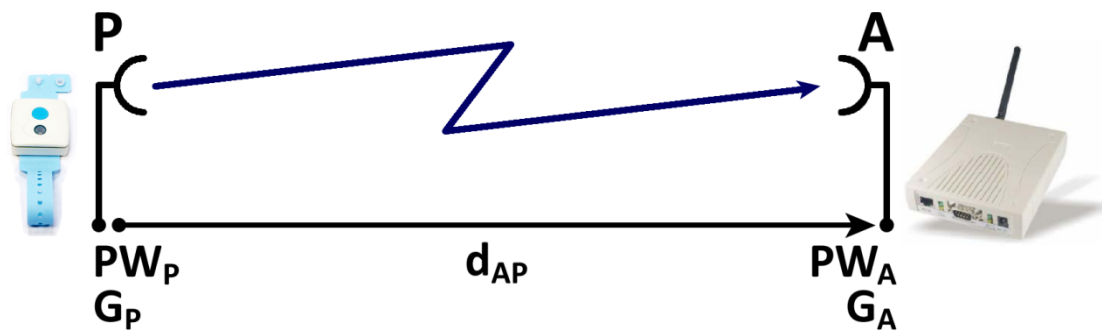


Figura 22 Escenario esquemático con tag y lector

Se parte, por tanto, de tres hipótesis para calcular la distancia d_{AP} :

1. Espacio libre, sin ruidos ni interferencias.
2. PW_P conocido.
3. PW_A calculado *explícitamente*.

Si se conoce la potencia de la señal enviada PW_P , las ganancias de las antenas G_A y G_P y la pérdida de propagación L_p y puede calcularse con precisión la potencia recibida PW_A , puede obtenerse la distancia d_{AP} (Figura 22).

¿Cómo puede calcularse *explícitamente* la potencia recibida PW_A ?

La tecnología RFID proporciona una medida aproximada de rangos por intensidad de la señal recibida, llamada **RSSI** (Received Signal Strength Indicator). Se trata de un valor cuantificado de 8 bits, es decir, entre 0 y 255, que guarda un tipo de relación, a priori desconocida, con la potencia recibida PW_A .

Por tanto, a la vista de lo anterior, las nuevas hipótesis son:

1. Espacio libre, sin ruidos ni interferencias.
2. PW_p conocido.
3. PW_A calculado *electrónicamente*.

La expresión

$$RSSI_A = f(PW_A) = g(d_{AP})$$

representa la nueva situación, relacionando $RSSI_A$, PW_A y d_{AP} . f y g son desconocidas, pero para calcular la distancia d_{AP} , ha de poder estimarse

$$d_{AP} = g^{-1}(RSSI_A)$$

Para encontrar esta relación se ha procedido de manera empírica, calculando los valores de $RSSI_A$ correspondientes a cada distancia d_{AP} y obteniendo la curva que relaciona ambas magnitudes, pero anteriormente a este proceso se analizaron todas las posibles causas de incertidumbre que presentaba el modelo para conseguir la solución más fiable posible.

6.2 CAUSAS DE INCERTIDUMBRE

6.2.1 CUANTIFICACIÓN

El fabricante, al proporcionar la medida RSSI de 8 bits, introduce un inevitable **error o ruido de cuantificación** en la señal, diferencia entre la señal original de potencia PW_A y la cuantificada como indicador de intensidad de señal recibida $RSSI_A$.

$$\varepsilon_A = PW_{Aq}(RSSI_A) - PW_A$$

A priori no se puede conocer el valor de este error de cuantificación ya que el fabricante no aporta datos sobre el tipo de cuantificación utilizada o relación existente entre la potencia

PW_A y el indicador $RSSI_A$ pero, como se verá más adelante, la curva que relaciona $RSSI_A$ y distancia d_{AP} no es lineal, y este error de cuantificación se ve acrecentado conforme aumenta la distancia d_{AP} , de tal forma que puede decirse que el efecto sobre el cálculo de d_{AP} es el de una cuantificación no uniforme.

6.2.2 MULTITRAYECTO

El **multitrayecto** (del inglés *multipath*) es un fenómeno de propagación en comunicaciones inalámbricas por el que una onda alcanza a la antena receptora desde varios caminos diferentes, provocando interferencias constructivas o destructivas en la potencia PW_A . Ello se debe a fenómenos de reflexión y de difracción que, en el caso de estudio de interiores, son ocasionados fundamentalmente por la geometría del entorno (Figura 23).

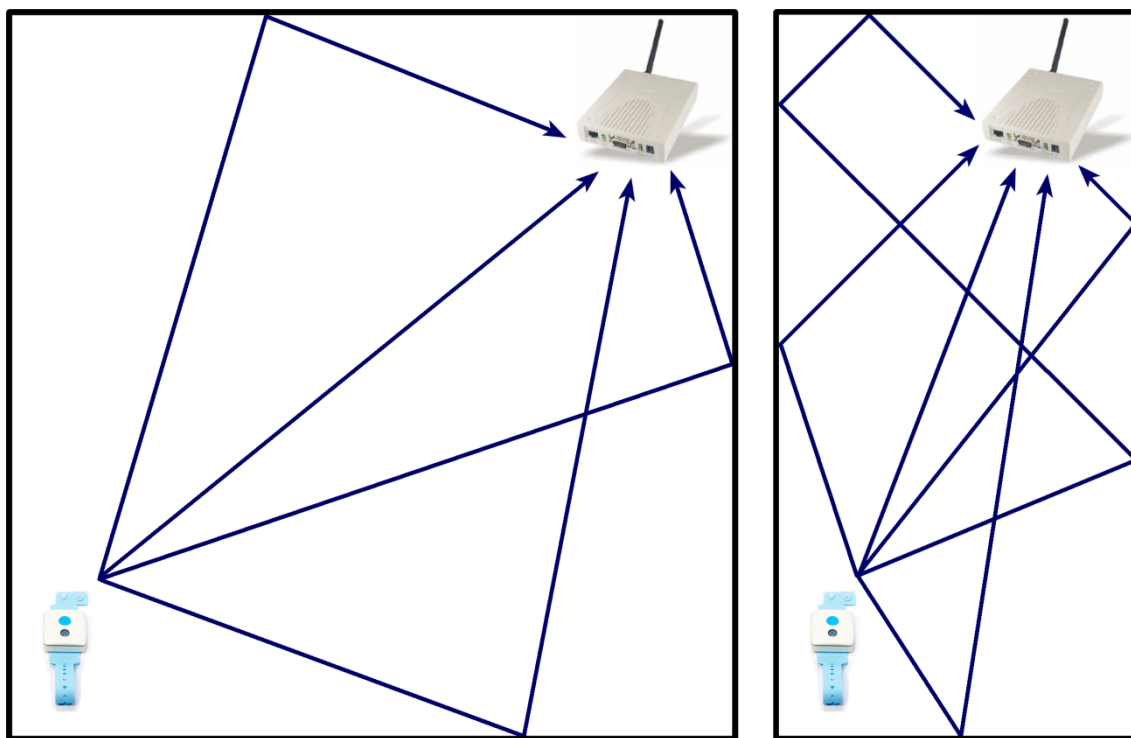


Figura 23 Entornos de diferentes geometrías con multitrayecto

Se tiene, por tanto, **incertidumbre geométrica**. Es en principio inevitable, aunque estudios acerca de este fenómeno presentan posibles soluciones como la calibración previa del entorno de trabajo o el cálculo de la curva media $RSSI_A$ - d_{AP} de entornos diferentes.

6.2.3 RUIDOS

En el caso de estudio de entornos interiores como el hogar, existe una gran cantidad de **fuentes de ruido** que pueden afectar a las señales transmitidas. Se considera ruido a todas las perturbaciones eléctricas que interfieren sobre las señales transmitidas o a toda señal no deseada que se mezcla con la señal útil que queremos transmitir. Es el resultado de diversos tipos de perturbación que tiende a enmascarar la información cuando se presenta en la banda de frecuencias del espectro de la señal, es decir, dentro de su ancho de banda.

El ruido se debe a múltiples causas, y en el caso de estudio:

- **Fuentes electromagnéticas artificiales.** Interferencia de señales externas a la misma frecuencia de trabajo, como el WiFi.
- **Electrónica.** Ruido térmico producido por componentes electrónicos, como las resistencias, y aparatos electrónicos del entorno.
- **Fuentes naturales.** Aunque por la naturaleza del caso de estudio de interiores las fuentes naturales no debieran afectar en absoluto, se observaron ciertos comportamientos anómalos causados por fenómenos como la lluvia, probablemente debido a la proximidad de ventanas en el escenario de pruebas.

Es imposible eliminar totalmente el ruido pero, sin embargo, es posible limitar su valor mediante, por ejemplo, múltiples repeticiones de una misma medida y el cálculo de su valor medio, lo cual es equivalente a filtrar una señal con un filtro paso-bajo.

6.2.4 DEPENDENCIA DE TAG

El valor de la potencia emitida **PW_p** varía con el **tipo y modelo de tag** (ver modelos de tags utilizados en Tecnologías > RFID-Activo, 4.1).

Se llegó a esta conclusión tras realizar pruebas de dependencia con diferentes tags, discriminando otros posibles factores de incertidumbre como la dependencia de lector o de orientación.

Con las siguientes especificaciones

- Alturas lector y tags = 29 cm
- Distancia = 1 m
- Número de medidas/caso
 - 35 (1'30'' a 2,5''/medida) - tag pulsera
 - 30 (1'30'' a 3''/medida) - tag llavero
- Orientación = frontal



se realizaron, para el Reader 0077, pruebas de dependencia de los tags

- Tag=0001000107193044 (pulsera)
- Tag=0001000107161021 (llavero con pulsador)
- Tag=0001000107192040 (llavero sin pulsador)

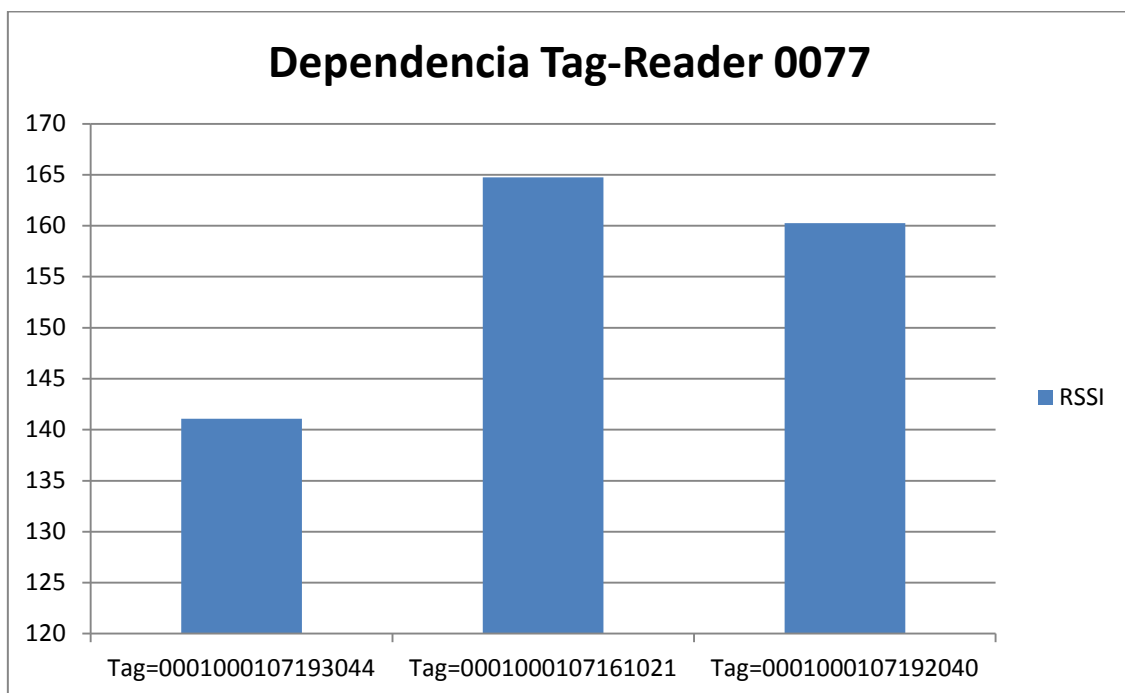


Figura 24 Resultados de dependencia de tag

A la vista de los resultados (Figura 24), puede apreciarse cómo los tags de llavero (Tag=0001000107161021 y Tag=0001000107192040) emiten con un nivel de potencia PW_p considerablemente superior al tag de pulsera (Tag=0001000107193044). Esta diferencia de

niveles de potencia emitidos se debe a sus antenas internas, iguales en el caso de tags de llavero y diferente en el tag de pulsera.

El Algoritmo de posicionamiento ha sido diseñado para el uso del tag de pulsera ya que se trata, a priori, del caso más crítico de los tres por su menor nivel de RSSI enviado. Por ello, si se introdujeran por ejemplo los tags de llavero en el entorno de estudio, se produciría un error asociado a la incertidumbre de dependencia de tag; de tal forma que al recibirse valores de PW_A , PW_B y PW_C (y por tanto, $RSSI_A$, $RSSI_B$ y $RSSI_C$) mayores de lo esperado, el Algoritmo de posicionamiento los asociaría con distancias d_{AP} , d_{BP} y d_{CP} menores, y las circunferencias trazadas en torno a los lectores reducirían su tamaño.

Fijados unos valores esperados de PW_A' , PW_B' y PW_C' , si los valores medidos son PW_A , PW_B y PW_C , tenemos la siguiente situación gráfica (Figura 25):

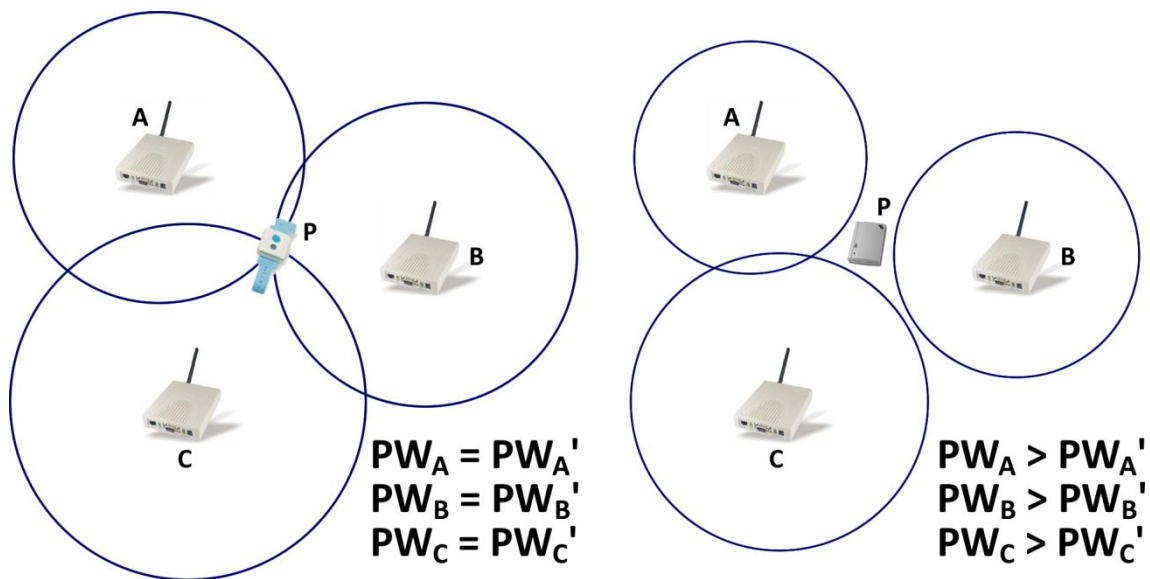


Figura 25 Efecto producido por dependencia de tag

Como veremos más adelante, los casos detectables pueden solucionarse mediante algorítmica.

6.2.5 DEPENDENCIA DE LECTOR

Los valores de las potencias recibidas, PW_A , PW_B y PW_C (y por tanto, $RSSI_A$, $RSSI_B$ y $RSSI_C$) varían ligeramente dependiendo del **lector** que reciba la señal (ver lectores utilizados en Tecnologías > RFID-Activo, 4.1).

Se llegó a esta conclusión tras realizar pruebas de dependencia con los tres lectores, discriminando otros posibles factores de incertidumbre como la dependencia de tag o de orientación.

Con las siguientes especificaciones

- Alturas lectores y tag = 29 cm
- Distancia = 1 m
- Número de medidas/caso
 - 35 (1'30'' a 2,5''/medida) - tag pulsera
- Orientación = frontal



se realizaron, para el Tag=0001000107193044 (pulsera), pruebas de dependencia de los lectores

- Reader 0077
- Reader 0078
- Reader 0079

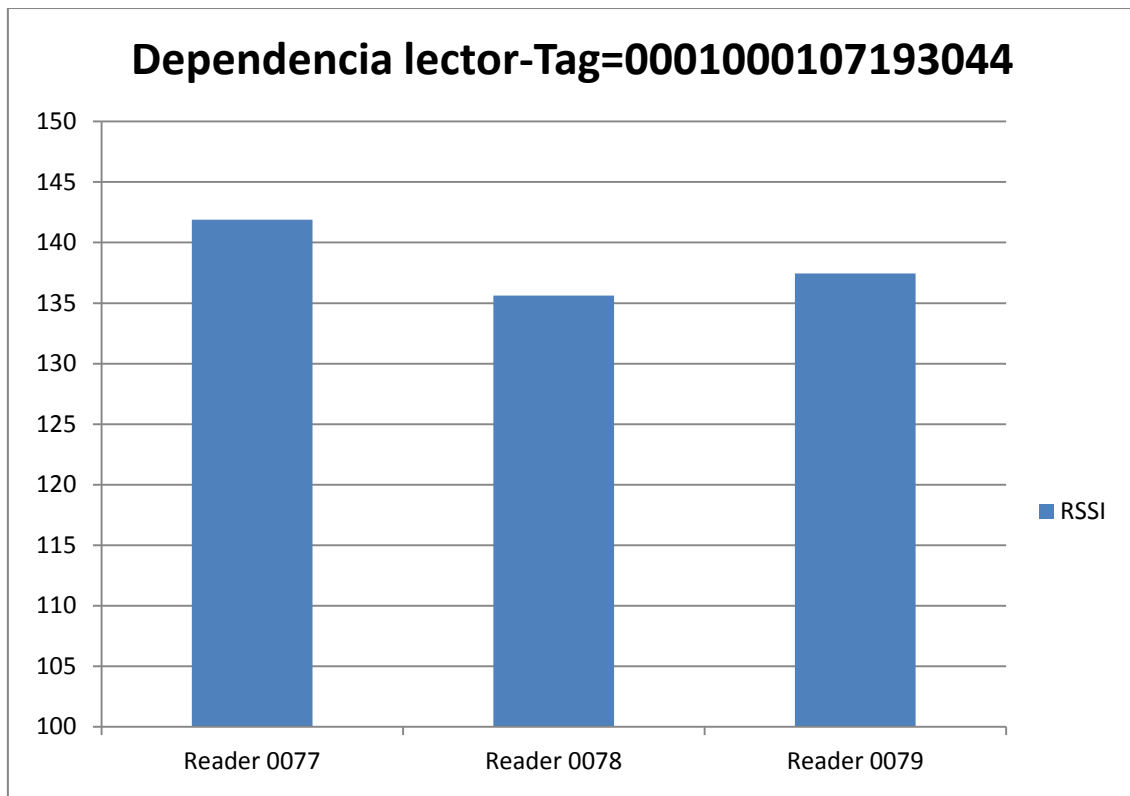


Figura 26 Resultados de dependencia de lector

A la vista de los resultados (Figura 26), puede apreciarse cómo existen ligeras variaciones de $RSSI_A$, $RSSI_B$ y $RSSI_C$ dependiendo del lector que las reciba. Esto genera un error asociado a la incertidumbre de dependencia de lector que podría corregirse caracterizando individualmente cada uno de los lectores.

6.2.6 DEPENDENCIA DE ORIENTACIÓN

Debido a la **anisotropía** de las antenas, PW_A , PW_B y PW_C (y por tanto, $RSSI_A$, $RSSI_B$ y $RSSI_C$) varían dependiendo de la orientación de los tags.

Se llegó a esta conclusión tras realizar pruebas de dependencia de orientación, discriminando otros posibles factores de incertidumbre como la dependencia de lector o de tag.

Con las siguientes especificaciones

- Alturas lector y tags = 29 cm
- Distancia = 1 m

- Número de medidas/caso
 - 35 (1'30'' a 2,5''/medida) - tag pulsera
 - 30 (1'30'' a 3''/medida) - tag llavero

se realizaron, para el Reader 0077, pruebas de dependencia de orientación de los tags

- Tag=0001000107193044 (pulsera)
- Tag=0001000107161021 (llavero con pulsador)

para las siguientes posiciones (**Figura 27**):

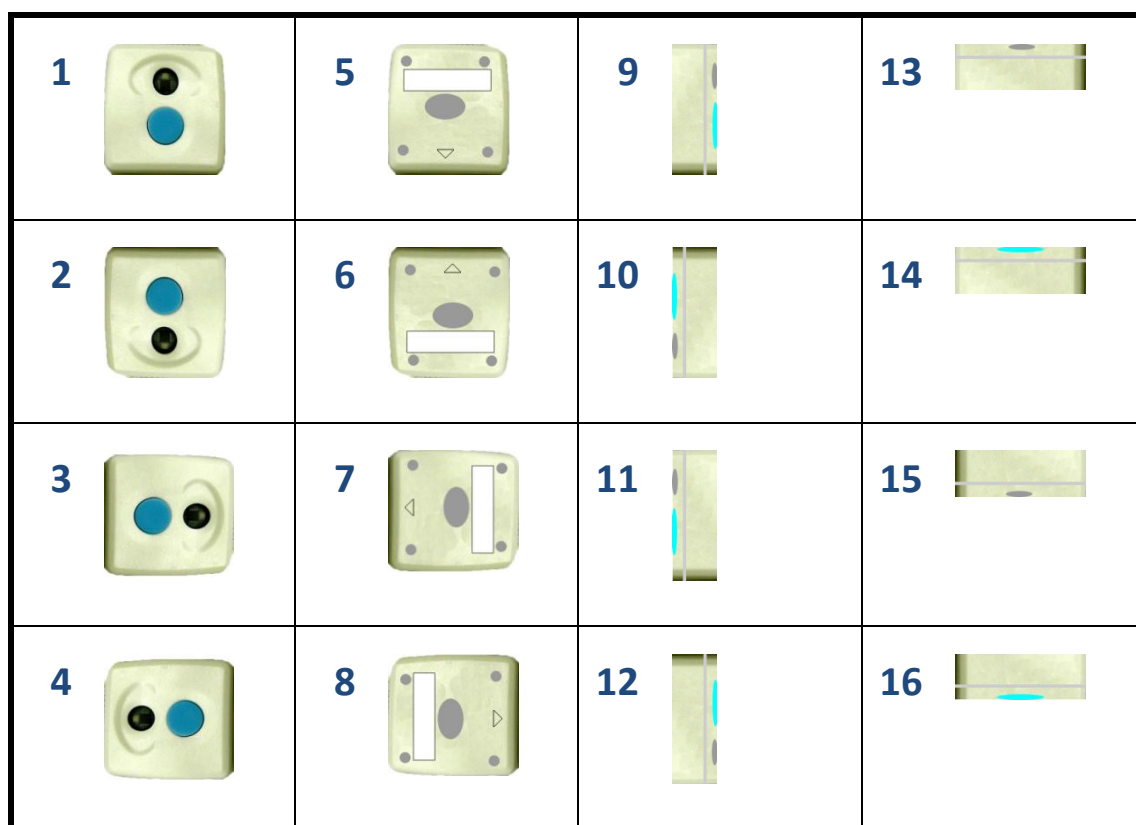


Figura 27 Posiciones analizadas para el estudio de dependencia de orientación

Aunque podrían considerarse más orientaciones, tomamos estas 16 como referencia.

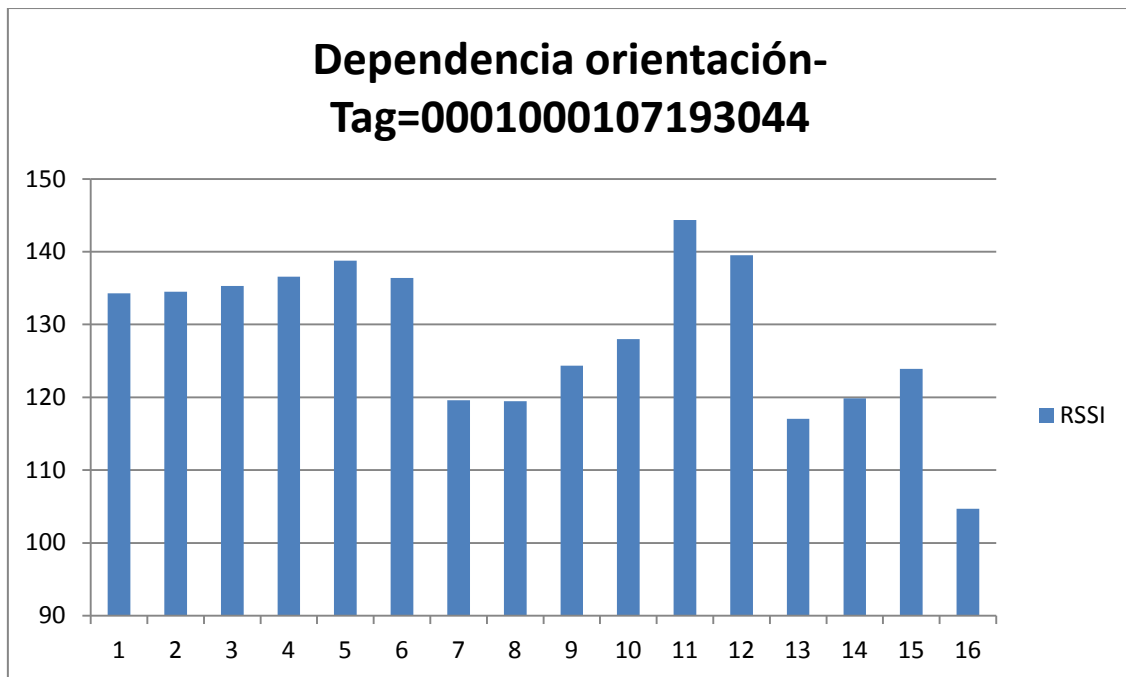


Figura 28 Resultados de dependencia de orientación para Tag=0001000107193044

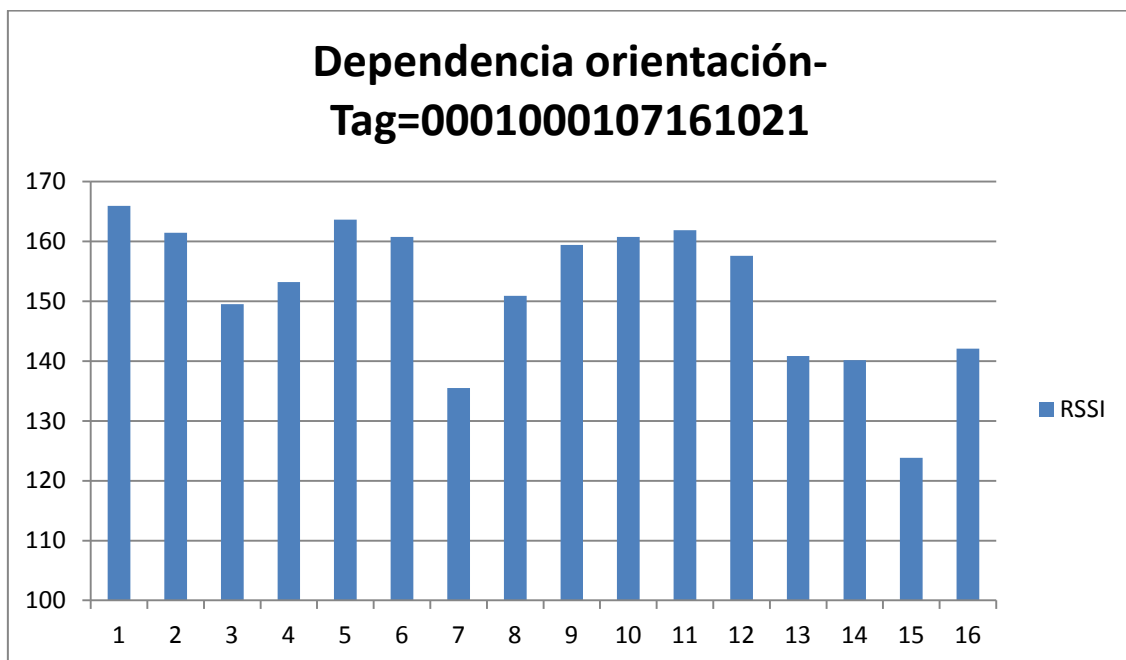


Figura 29 Resultados de dependencia de orientación para Tag=0001000107161021

A la vista de los resultados ([Figura 28](#) y [Figura 29](#)), puede apreciarse cómo varían los RSSI recibidos dependiendo de la orientación del tag y, como se ha demostrado anteriormente, de manera diferente en cada tag. Se producen variaciones distintas en los valores de PW_A , PW_B y PW_C (y por tanto, $RSSI_A$, $RSSI_B$ y $RSSI_C$), análogamente a lo que ocurría en la dependencia de lector, pero de forma más acentuada.

6.2.7 DEPENDENCIA TEMPORAL

La potencia emitida PW_p puede variar con el tiempo debido a la **duración de la batería**.

Según el fabricante, la duración de la batería es una cuestión crítica que debe tenerse en cuenta para cada aplicación. La optimización del tiempo de vida de las baterías depende, por lo tanto, de las características del uso que se haga de los tags. El factor que influye de forma más considerable en su duración, es la **frecuencia de emisión** del tag. Un incremento de su frecuencia provoca un incremento del consumo y una reducción de la duración de la batería.

Otros factores que influyen en la duración de la batería, aunque en menor medida, son:

- **Frecuencia de recepción de información.** Un incremento de esta frecuencia provoca un incremento del consumo y una reducción de la vida de la batería.
- **Uso del pulsador.** Un uso excesivo del pulsador, en los modelos de tags que lo incluyan, implica un desgaste prematuro de la batería.
- **Condiciones climáticas.** Las baterías tienen un peor comportamiento en ambientes fríos.
- **Calidad de la propia batería.** En el mercado pueden encontrarse diversas calidades de baterías.

Por ello, puede verse afectada la potencia emitida PW_p y producirse un error asociado a la incertidumbre de dependencia temporal por la duración de la batería. Al recibirse valores de PW_A , PW_B y PW_C (y por tanto, $RSSI_A$, $RSSI_B$ y $RSSI_C$) menores de lo esperado, el Algoritmo de posicionamiento los asociaría con distancias d_{AP} , d_{BP} y d_{CP} mayores, y las circunferencias trazadas en torno a los lectores aumentarían su tamaño, produciéndose el efecto totalmente contrario al caso de incertidumbre por dependencia de tag.

Fijados unos valores esperados de PW_A' , PW_B' y PW_C' , si los valores medidos son PW_A , PW_B y PW_C , tenemos la siguiente situación gráfica ([Figura 30](#)):

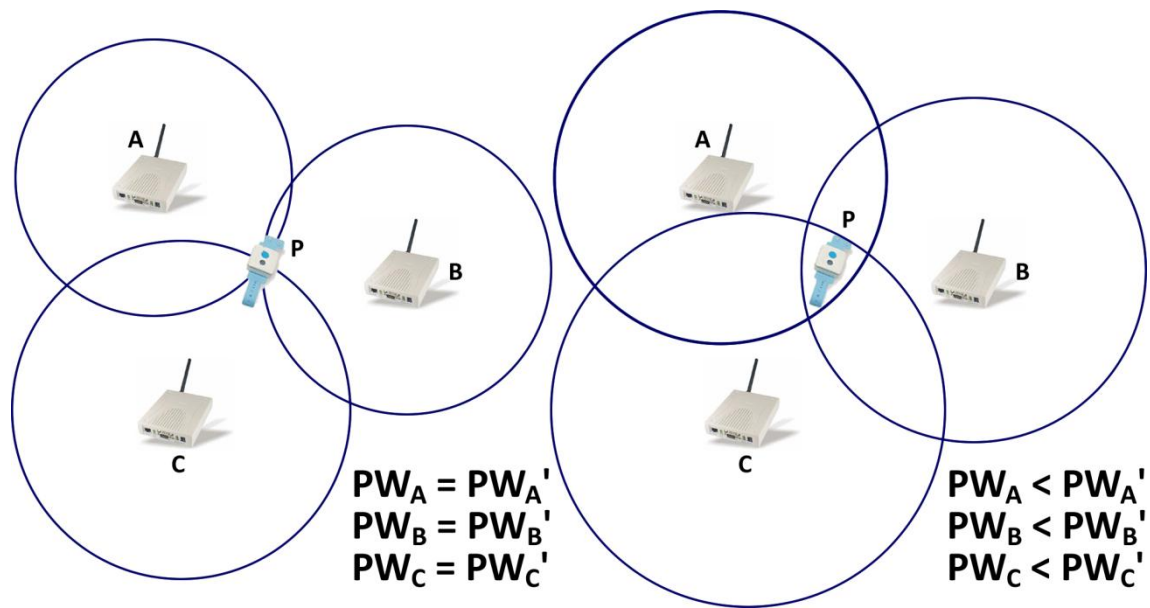


Figura 30 Efecto producido por dependencia temporal

Como veremos más adelante, los casos detectables pueden solucionarse mediante algorítmica. De todas formas, cabe destacar que aunque no se ha podido probar la duración de la batería con el tiempo, se hicieron pruebas con pilas nuevas y usadas durante un año, y apenas variaba el nivel de potencia recibido.

Para terminar, se descartó la posible variación temporal de potencias recibidas PW_A , PW_B y PW_C (y por tanto, $RSSI_A$, $RSSI_B$ y $RSSI_C$) a lo largo del día por posibles interferencias naturales y artificiales, mediante la realización de una prueba de dependencia temporal, discriminando otros posibles factores de incertidumbre como la dependencia de lector, de tag o de orientación.

Con las siguientes especificaciones

- Alturas lector y tag = 29 cm
- Distancia = 1 m
- Número de medidas/caso
 - 35 (1'30'' a 2,5''/medida) - tag pulsera
- Orientación = frontal



se realizaron, para el Reader 0077 y el Tag=0001000107193044 (pulsera), pruebas de dependencia temporal durante un día, de 9:00 a 21:00 cada 3 horas, observándose que no existía apenas variación (Figura 31).

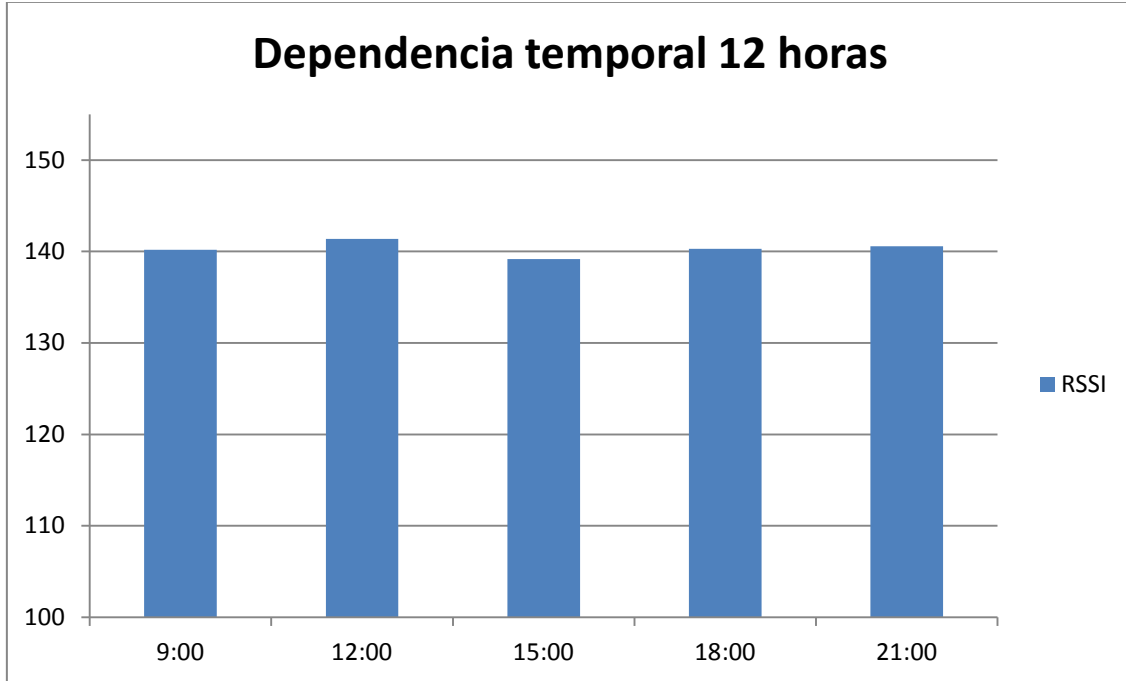


Figura 31 Resultados de dependencia temporal

6.3 CURVA RSSI-DISTANCIA

Una vez analizadas las causas de incertidumbre para conseguir la solución más fiable posible, y recordando que

$$RSSI_A = f(PW_A) = g(d_{AP})$$

relaciona **RSSI_A**, **PW_A** y **d_{AP}** y g es desconocida, para calcular **d_{AP}**, ha de poder estimarse

$$d_{AP} = g^{-1}(RSSI_A)$$

Para encontrar esta relación, procediendo de manera empírica y calculando los valores de **RSSI_A** correspondientes a cada distancia **d_{AP}** para obtener la curva que relaciona ambas magnitudes, existen dos casos posibles:

1. **Sin incertidumbre:** Cálculo empírico simple.
2. **Con incertidumbre** (caso de estudio): Cálculo empírico de función g , mediada respecto a las causas de ruido, y estimación de error medio para conocer el rango de incertidumbre.

Para llevar a cabo este cálculo empírico se escogió como primer escenario un despacho, entorno en principio de condiciones críticas.

6.3.1 ESCENARIO 1: DESPACHO

El **despacho D-204** de la E.T.S.I. Telecomunicación, de dimensiones **11x5 metros**, fue, a modo de aproximación al problema, el primer escenario escogido para llevar a cabo las mediciones, y con las siguientes especificaciones

- Alturas lector y tag = 29 cm
- Distancia total recorrida= 2,25 m
- Número de distancias medidas= 12
- Número de medidas/distancia
 - 35 (1'30" a 2,5"/medida) - tag pulsera
- Orientación = frontal



se realizó, para el Reader 0077 y Tag=0001000107193044 (pulsera), el cálculo empírico de la curva **RSSI_A-d_{AP}**.

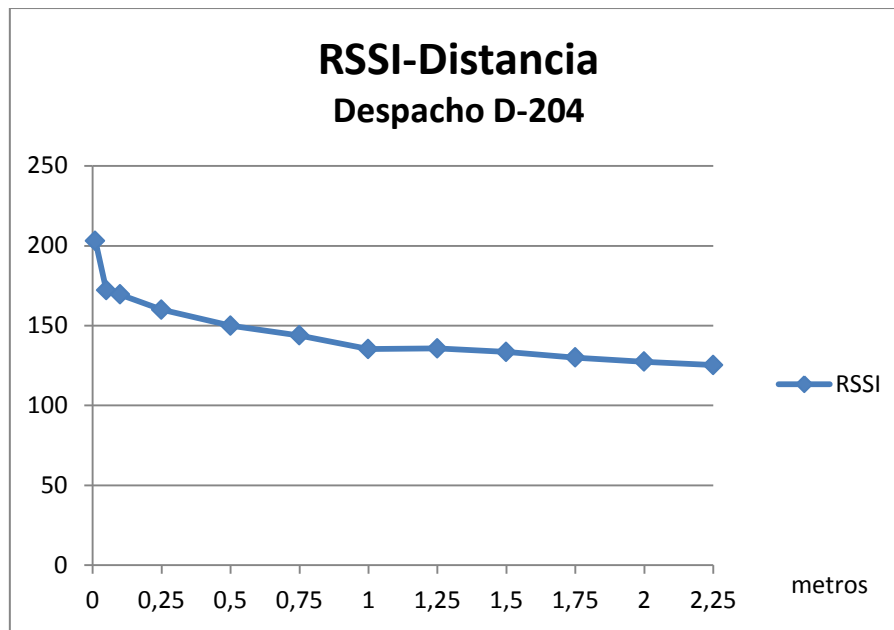


Figura 32 Curva RSSI-distancia en escenario de despacho

La curva calculada (Figura 32) es válida como primera **aproximación al problema**, pero para poder conseguir un modelo más fiable y estudiar con mayor fidelidad el comportamiento real de la curva $RSSI_A-d_{AP}$, habían de tomarse medidas más exactas e intentar discriminar, en la medida de lo posible, otros factores externos de interferencias e incertidumbres. Por ello, se decidió realizar el cálculo empírico de la curva en un pasillo, entorno más alejado de las principales condiciones críticas.

6.3.2 ESCENARIO 2: PASILLO

El **pasillo de la segunda planta del Edificio D** de la E.T.S.I. Telecomunicación, de dimensiones **20x1,5 metros**, fue el escenario escogido para llevar a cabo las nuevas mediciones. A fin de estudiar más fielmente el comportamiento real de la curva $RSSI_A-d_{AP}$, se realizaron **200 mediciones de una distancia total de 10 metros**, es decir, cada 5 centímetros.

Con las siguientes especificaciones

- Alturas lector y tag = 29 cm
- Distancia total recorrida= 10 m
- Número de distancias medidas= 200
- Número de medidas/distancia
 - 35 (1'30'' a 2,5''/medida) - tag pulsera
- Orientación = frontal



se realizó, para el Reader 0077 y Tag=0001000107193044 (pulsera), el cálculo empírico de la curva **RSSI_A-d_{AP}**.

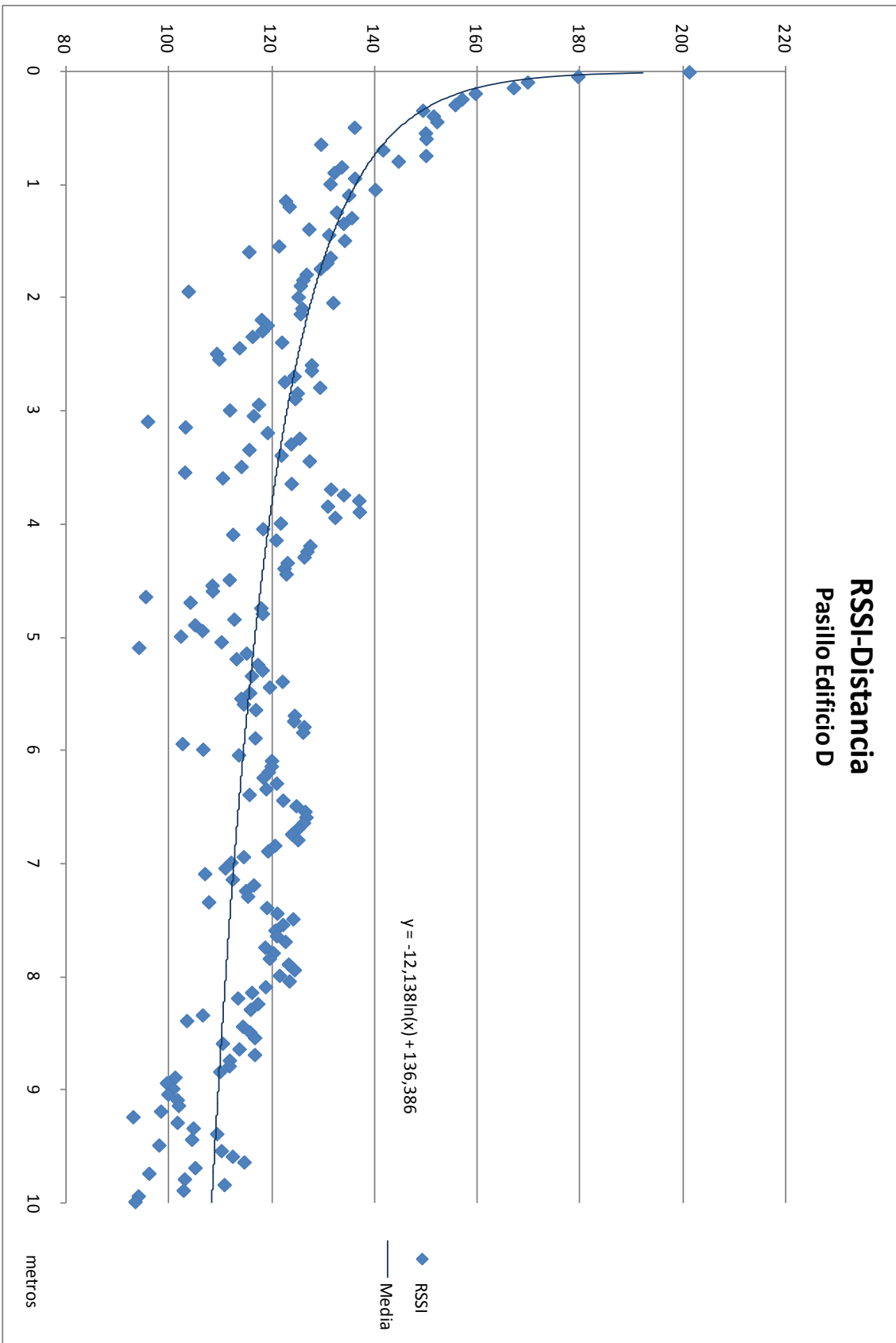


Figura 33 Curva RSSI-distancia en escenario de pasillo

Como puede apreciarse en los resultados (Figura 33), no se obtiene una curva $RSSI_A-d_{AP}$ nítida, sino que aparece afectada por **múltiples ruidos e incertidumbres**, que serán analizados más adelante.

A pesar de este comportamiento irregular, puede adivinarse la relación del $RSSI_A$ con la distancia d_{AP} . Mediante la herramienta *Línea de tendencia* de Microsoft Office Excel puede presentarse la curva que representa el comportamiento medio de los valores obtenidos en el cálculo empírico:

$$y = -12,138 \ln(x) + 136,386$$

Es decir,

$$RSSI_A = -12,138 \ln(d_{AP}) + 136,386$$

o, equivalentemente,

$$d_{AP} = 75809,308 \times 0,921^{RSSI_A}$$

De esta forma se obtiene por vez primera la relación $d_{AP} = g^{-1}(RSSI_A)$ que se buscaba.

Para conocer el rango de incertidumbre manejado han de estudiarse los errores introducidos en los valores obtenidos, tanto en concepto de RSSI como de distancia.

Fijada una distancia d_i , se realizan N medidas R_{ij} donde

$$i = 1 \dots M, j = 1 \dots N$$

M : número de distancias medidas. $M = 200$, en el caso de estudio.

N : número de repeticiones de una medida a una misma distancia. $N = 35$, en el caso de estudio.

Para cada distancia d_i estimamos un valor R_i' :

$$R_i' = g(d_i)$$

El error de cada repetición de una misma medida vendrá dado por

$$e_{RSSI_{ij}} = |R_{ij} - R_i'|$$

El error medio de cada distancia será, por tanto,

$$\bar{e}_{RSSI_i} = \frac{\sum |R_{ij} - R_i'|}{N}$$

Y, por último, el error medio total de RSSI para las $M = 200$ mediciones tendrá la forma

$$\bar{e}_{RSSI} = \frac{\sum \bar{e}_{RSSI_i}}{M}$$

Para estudiar el error introducido en distancia, se supone también una distancia fijada d_i , donde la que se realizan $N = 35$ medidas R_{ij} .

Para cada medida R_{ij} estimamos un valor d'_{ij} :

$$d'_{ij} = g^{-1}(R_{ij})$$

El error de cada repetición de una misma medida vendrá dado por

$$e_{distancia_{ij}} = |d_i - d'_{ij}|$$

El error medio de cada distancia será, por tanto,

$$\bar{e}_{distancia_i} = \frac{\sum |d_i - d'_{ij}|}{N}$$

Y, por último, el error medio total de distancia para las $M = 200$ mediciones tendrá la forma

$$\bar{e}_{distancia} = \frac{\sum \bar{e}_{distancia_i}}{M}$$

Con el fin de exponer los resultados con la mayor claridad posible, se representan a continuación gráficamente los diagramas de error de RSSI y distancia ([Figura 34](#) y [Figura 35](#)), y se dan los valores de errores medios totales calculados también para RSSI y distancia.

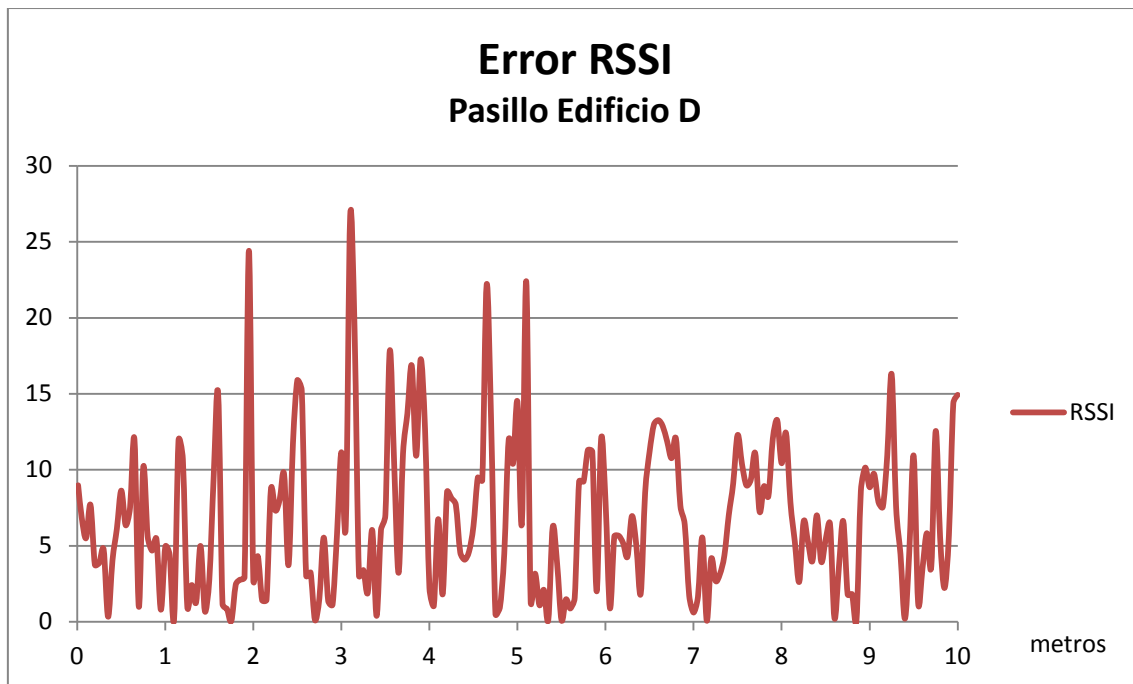


Figura 34 Resultados de error de RSSI en escenario de pasillo

Donde el valor medio total de error de RSSI $\bar{e}_{RSSI} = 6,747$.

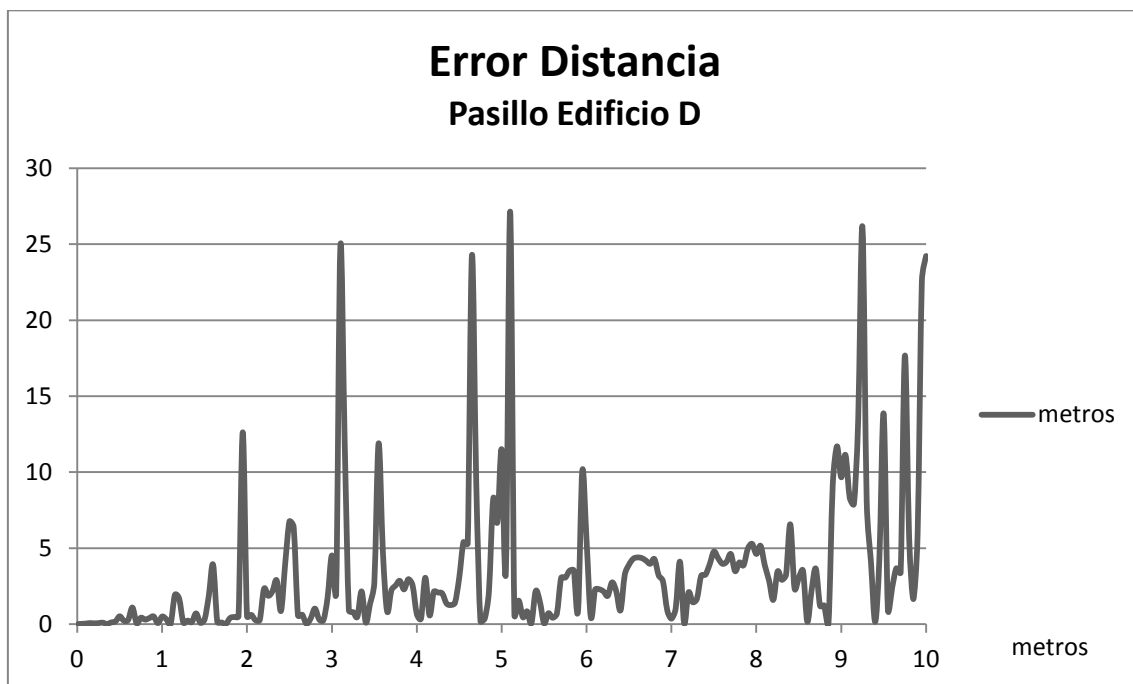


Figura 35 Resultados de error de distancia en escenario de pasillo

Donde el valor medio total de error de distancia $\bar{e}_{distancia} = 3,471$ metros, valor bastante alto todavía para los objetivos del sistema. Además de ciertos picos de error inadmisibles en el caso

de estudio, puede observarse un aumento de error medio con la distancia, muy probablemente producido por el ruido de **cuantificación**.

Tras analizar el escenario del pasillo se llegó a la conclusión de que tales interferencias e incertidumbres, causantes de estos errores, eran originadas muy probablemente por ruidos todavía de **fuentes electromagnéticas artificiales** pero, principalmente, por el **multitrayecto** al que se veían sometidas las señales por la geometría del pasillo. Por tanto, en busca de un modelo más fiable aún, donde poder discriminarse la mayor parte de condicionantes externos, se eligió como tercer escenario el aire libre.

6.3.3 ESCENARIO 3: AIRE LIBRE

El **aparcamiento al aire libre del Edificio D** de la E.T.S.I. Telecomunicación, de dimensiones **40x10 metros**, fue el escenario escogido para llevar a cabo las últimas mediciones para estudiar el comportamiento de la curva **RSSI_A-d_{AP}**. De nuevo, se realizaron **200 mediciones de una distancia total de 10 metros**, es decir, cada 5 centímetros.

Con las siguientes especificaciones

- Alturas lector y tag = 29 cm
- Distancia total recorrida= 10 m
- Número de distancias medidas= 200
- Número de medidas/distancia
 - 35 (1'30" a 2,5"/medida) - tag pulsera
- Orientación = frontal



se realizó, para el Reader 0077 y Tag=0001000107193044 (pulsera), el cálculo empírico de la curva **RSSI_A-d_{AP}**.

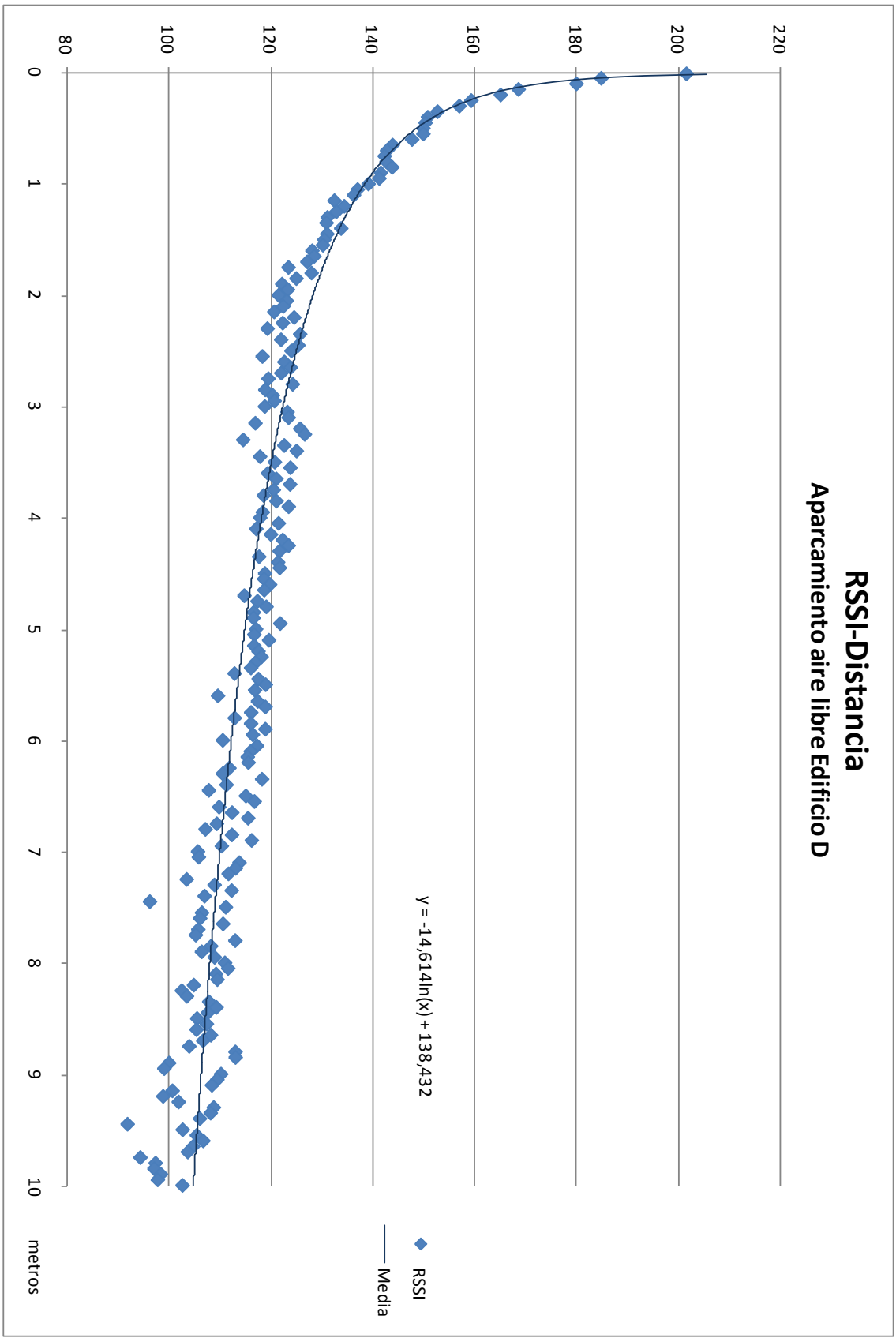


Figura 36 Curva RSSI-distancia en escenario al aire libre

Como se aprecia en los resultados (Figura 36), la curva $RSSI_A$ - d_{AP} ha mejorado notablemente, aparece afectada ya por bastantes menos ruidos e incertidumbres, y puede adivinarse ahora mucho más fácilmente la relación del $RSSI_A$ con la distancia d_{AP} . Mediante la herramienta *Línea de tendencia* de Microsoft Office Excel se presenta la curva que representa el comportamiento medio de los valores obtenidos en el cálculo empírico:

$$y = -14,614 \ln(x) + 138,432$$

Es decir,

$$RSSI_A = -14,614 \ln(d_{AP}) + 138,432$$

o, equivalentemente,

$$d_{AP} = 13001,563 \times 0,934^{RSSI_A}$$

De esta forma se obtiene la relación $d_{AP} = g^{-1}(RSSI_A)$ definitiva que usa el Algoritmo de posicionamiento.

Para conocer el rango de incertidumbre manejado en este nuevo escenario han de estudiarse de nuevo los errores introducidos en los valores obtenidos, tanto en concepto de RSSI como de distancia.

Una vez más, realizamos el cálculo del error medio total de RSSI y distancia para las $M = 200$ mediciones de la forma

$$\bar{e}_{RSSI} = \frac{\sum \bar{e}_{RSSI_i}}{M}$$

$$\bar{e}_{distancia} = \frac{\sum \bar{e}_{distancia_i}}{M}$$

Con el fin de exponer los resultados con la mayor claridad posible, se representan a continuación gráficamente los diagramas de error de RSSI y distancia para el nuevo escenario (Figura 37 y Figura 38), y se dan los valores de errores medios totales calculados también para RSSI y distancia.

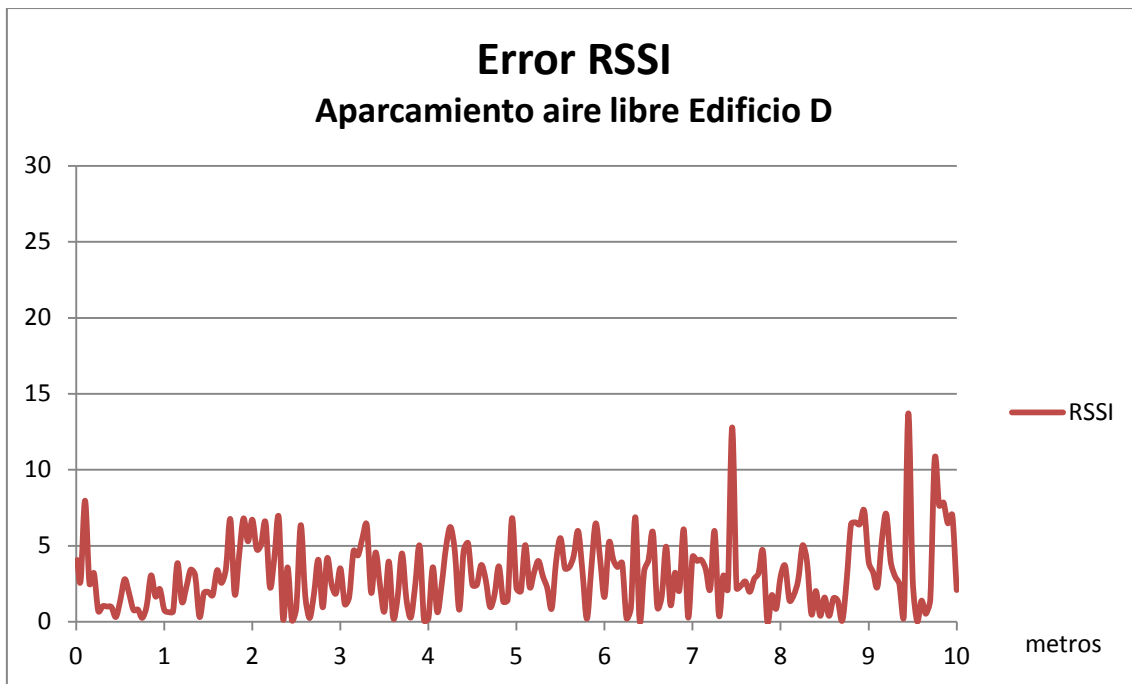


Figura 37 Resultados de error de RSSI en escenario al aire libre

Donde el valor medio total de error de RSSI $\bar{e}_{RSSI} = 3,114$, la mitad del obtenido en el escenario de pasillo.

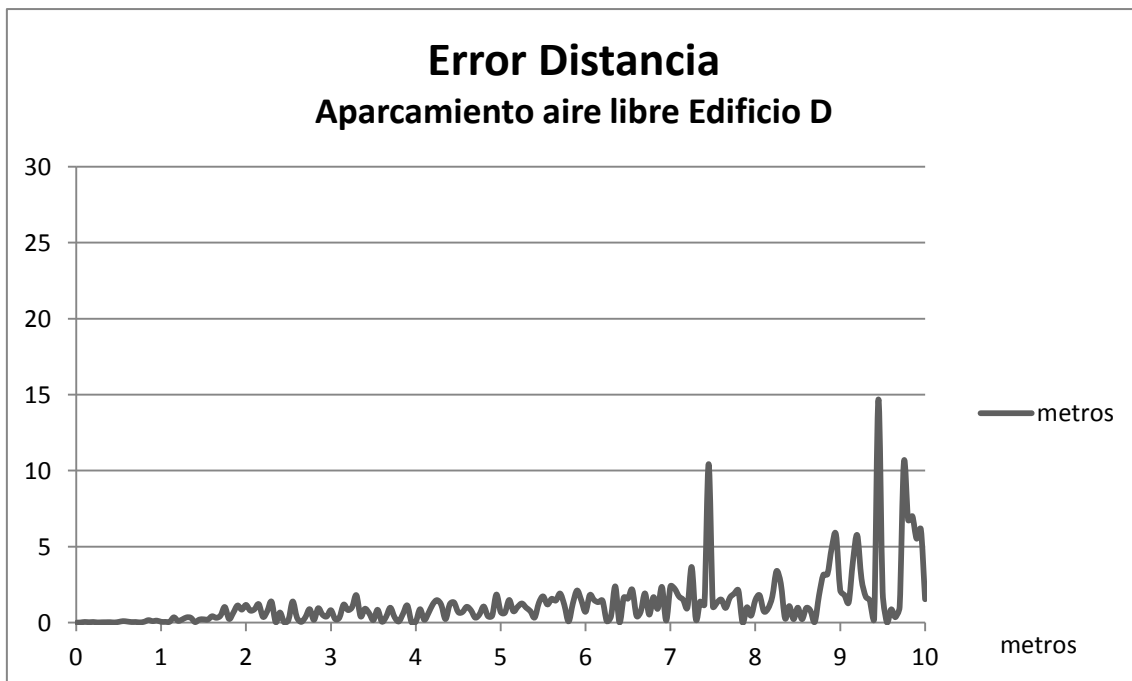


Figura 38 Resultados de error de distancia en escenario al aire libre

Donde el valor medio total de error de distancia $\bar{e}_{distancia} = 1,235 \text{ metros}$, valor ya muy ajustado a los objetivos del sistema. A excepción de varios puntos aislados, los diagramas

presentan valores mucho más regulares debidos en gran medida a la mayor lejanía de las fuentes de ruido y a la geometría menos agresiva del escenario, que ofrece un mejor comportamiento frente al multitrayecto de las señales. En el diagrama de error de distancia sigue observándose un pequeño aumento del error con la distancia, muy probablemente producido por el inevitable ruido de **cuantificación**.

El Algoritmo de posicionamiento cuenta, desde este momento, con las relaciones **RSSI_A-d_{AP}**

$$RSSI_A = -14,614 \ln(d_{AP}) + 138,432$$

$$d_{AP} = 13001,563 \times 0,934^{RSSI_A}$$

y el error medio total

$$\bar{e}_{distancia} = 1,235 \text{ metros}$$

necesarios para llevar a cabo la trilateración de un modo razonablemente fiable.

Con el fin de tener también un modelo intermedio entre las condiciones de incertidumbres del escenario de pasillo y las condiciones de regularidad del escenario al aire libre, y poder realizar comparaciones de curvas más adelante, se realizó la estimación de una curva **RSSI_A-d_{AP}** media entre ambos escenarios.

Del mismo modo que en los dos apartados anteriores, se representa la curva **RSSI_A-d_{AP}** calculada, que en este caso viene dada por las expresiones

$$RSSI_A = -13,376 \ln(d_{AP}) + 137,409$$

y

$$d_{AP} = 28935,655 \times 0,928^{RSSI_A},$$

se representan los diagramas de error de RSSI y distancia, y se dan los valores de errores medios totales calculados (**Figura 39** Curva RSSI-distancia media de escenarios pasillo y aire libre, **Figura 40** Resultados de error de RSSI medios de escenarios pasillo y aire libre y **Figura 41** Resultados de error de distancia medios de escenarios pasillo y aire libre):

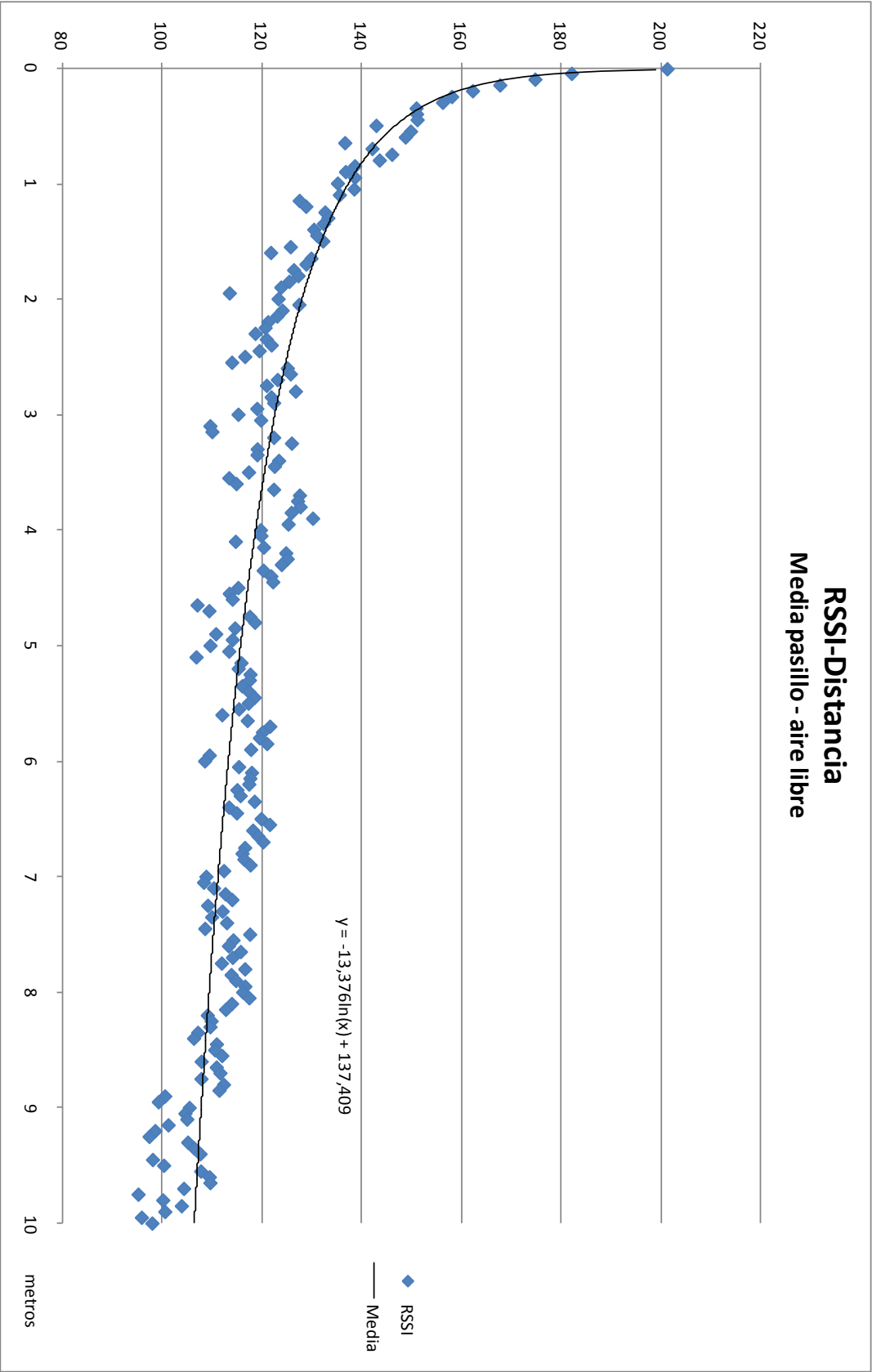


Figura 39 Curva RSSI-distancia media de escenarios pasillo y aire libre

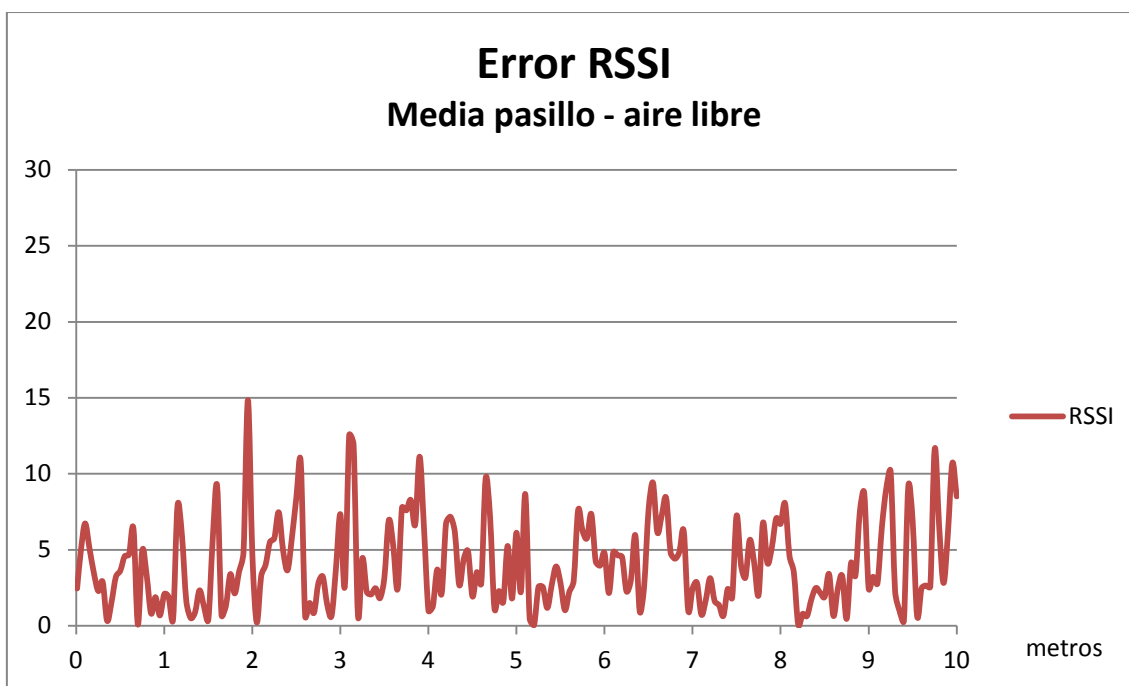


Figura 40 Resultados de error de RSSI medios de escenarios pasillo y aire libre

Donde el valor medio total de error de RSSI $\bar{e}_{RSSI} = 4,075$.

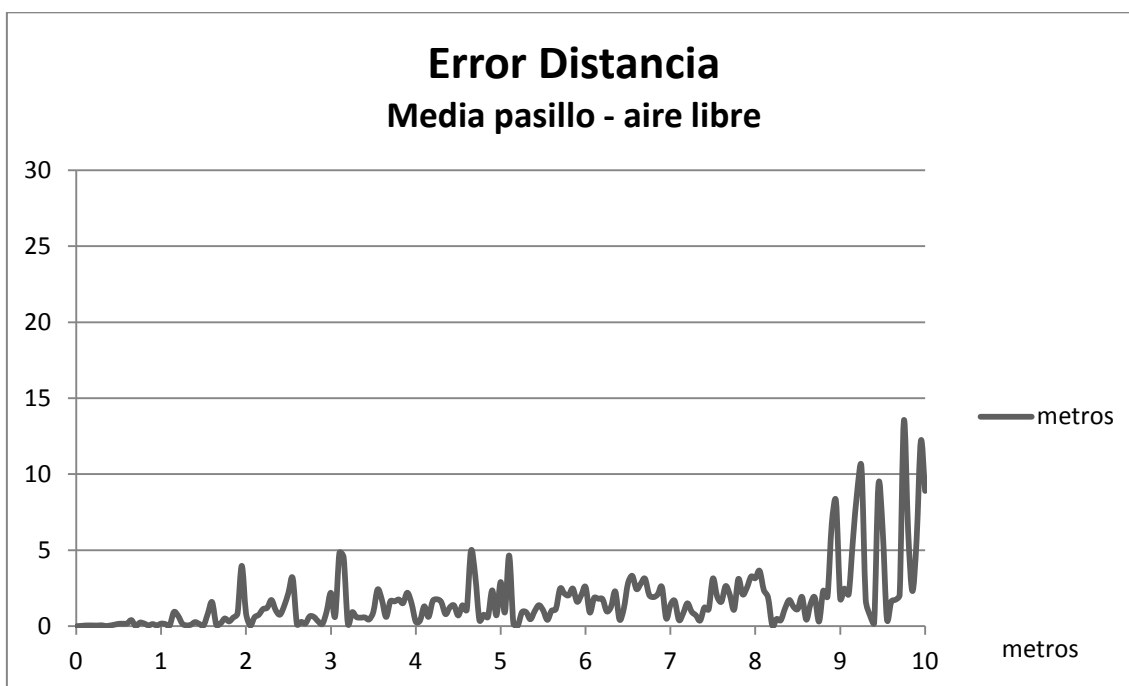


Figura 41 Resultados de error de distancia medios de escenarios pasillo y aire libre

Donde el valor medio total de error de distancia $\bar{e}_{distancia} = 1,686$ metros.

6.4 TRILATERACIÓN

A partir de la relación $RSSI_A - d_{AP}$ calculada y las ideas expuestas sobre **trilateración** en el apartado Modelo teórico > Cálculo de coordenadas, se realizaron las distintas pruebas del Algoritmo de posicionamiento, en un entorno escogido por su geometría y condiciones intermedias.

6.4.1 PRUEBA DE ALGORITMO

El **pasillo de conexión de la tercera planta entre los Edificios B y C** de la E.T.S.I. Telecomunicación, de dimensiones **20x4 metros**, fue el área escogida para llevar a cabo estas últimas pruebas. Siguiendo el método estudiado de cálculo de coordenadas, se colocaron los tres lectores y el tag en el plano $z=0$; uno de los lectores en el origen y otro en uno de los ejes.

Con las siguientes especificaciones

- Alturas lectores y tag = 100 cm
- Número de medidas/posición de tag
 - 35 (1'30" a 2,5"/medida) - tag pulsera
- Orientación = frontal



se realizó, para el Tag=0001000107193044 (pulsera), el primer grupo de pruebas del Algoritmo de posicionamiento.

A continuación, se muestran gráficamente las dimensiones del escenario creado y las posiciones de los tags para los distintos casos de prueba estudiados ([Figura 42](#)):

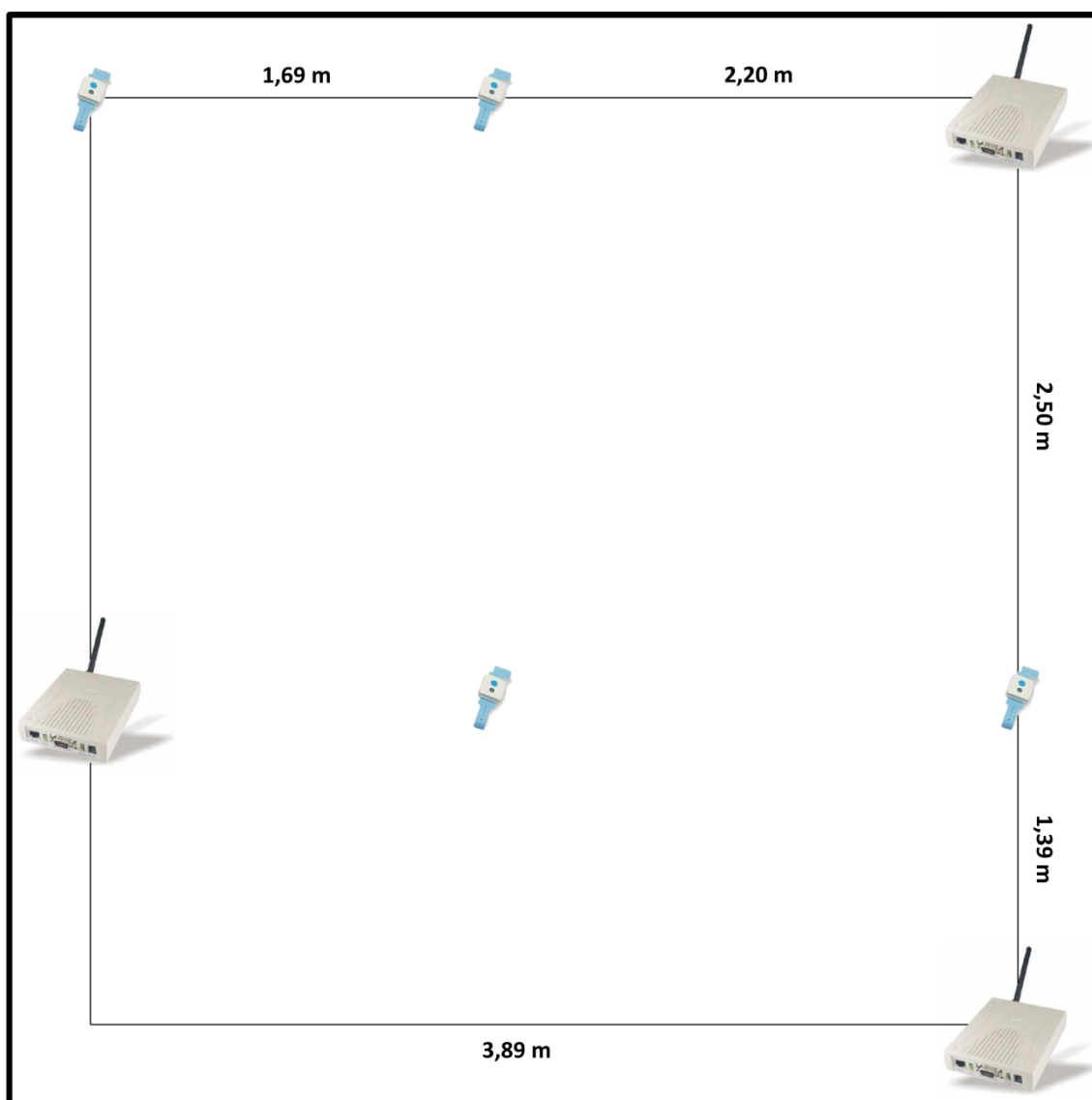


Figura 42 Escenario creado para primer grupo de pruebas de Algoritmo de posicionamiento

Como puede observarse, se creó, para este primer grupo de pruebas del Algoritmo de posicionamiento, un escenario cuadrado de **3,89x3,89 m** donde poder obtenerse más fácilmente los primeros resultados e impresiones, con tres casos límite de tags situados en los ejes de coordenadas. El comportamiento general del Algoritmo frente a las causas de incertidumbre estudiadas fue bueno pese a la alta, y esperada, **dependencia de la orientación** del tag.

Para una mayor aproximación a los entornos reales del caso de estudio de hogar inteligente, se decidió realizar un segundo grupo de pruebas creando un escenario de distancias mayores, y tomar los resultados como referencia para continuar con el estudio y encontrar una solución fiable al Algoritmo de posicionamiento.

Con las siguientes especificaciones

- Alturas lectores y tag = 29 cm
- Número de medidas/posición de tag
 - 35 (1'30'' a 2,5''/medida) - tag pulsera
- Orientación = frontal



se realizó, para el Tag=0001000107193044 (pulsera), el segundo grupo de pruebas del Algoritmo de posicionamiento, con una nueva colocación de los lectores.

A continuación, se muestran gráficamente las dimensiones del nuevo escenario creado y la posición del los tag para los distintos casos de prueba estudiados ([Figura 43](#)):

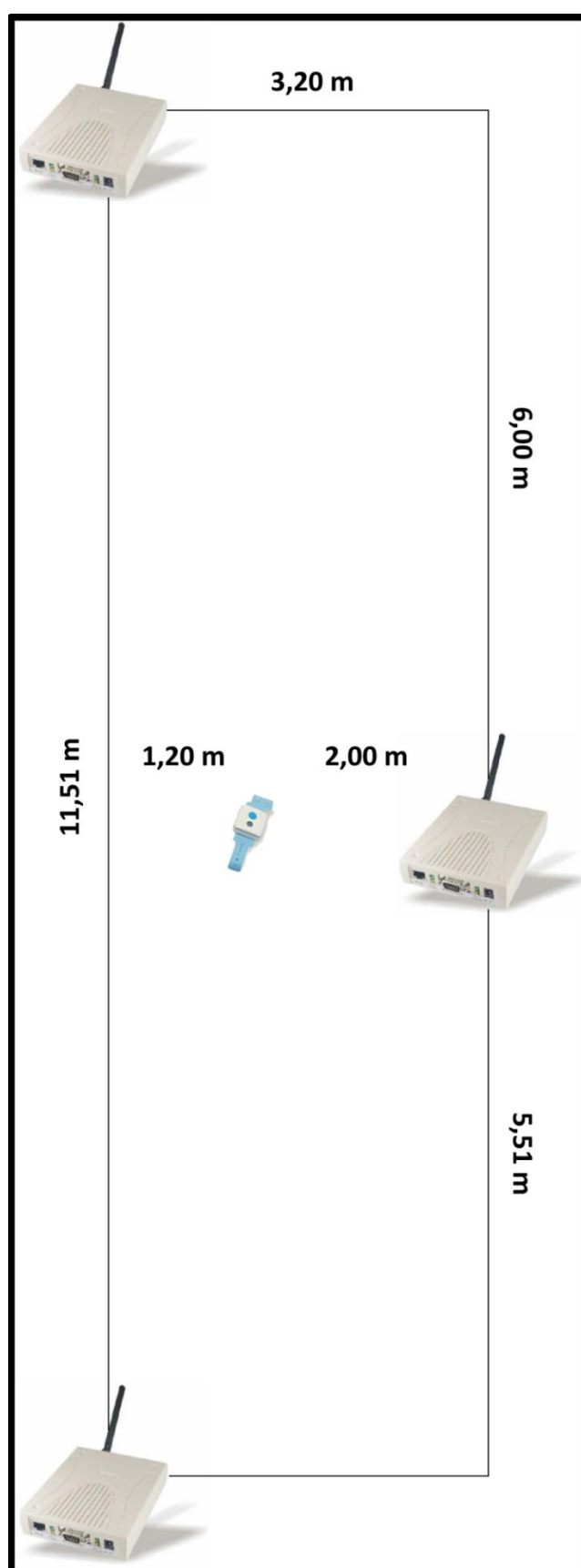


Figura 43 Escenario creado para segundo grupo de pruebas de Algoritmo de posicionamiento

Como puede observarse, se creó, para el segundo grupo de pruebas del Algoritmo de posicionamiento, un escenario rectangular de **11,51x3,20 m**. Tras observar en el primer grupo de pruebas la importancia de la orientación del tag, se centraron estas últimas en estudiar su efecto y posibles soluciones al problema. Por ello, y como referencia, se analizó en este caso tan sólo **una posición de tag, para tres orientaciones diferentes**, recogiendo los resultados de [Tabla 8](#), [Tabla 9](#) y [Tabla 10](#). Para cada orientación, se presentan los valores de distancia real de cada lector al tag, así como las distancias calculadas mediante las tres curvas estudiadas en el apartado anterior (Algoritmo de posicionamiento > Curva RSSI-Distancia, 6.3) y sus respectivos errores parciales y medios. En [Tabla 11](#) se presenta además el error medio total para las tres orientaciones.

Resultados Orientación 1			
A – Reader 0079			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
6,119	Curva pasillo	7,521	1,402
	Curva media	6,736	0,617
	Curva aire libre	6,147	0,028
B – Reader 0078			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
2,000	Curva pasillo	1,932	0,068
	Curva media	1,962	0,038
	Curva aire libre	1,987	0,013
C – Reader 0077			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
5,639	Curva pasillo	7,974	2,335
	Curva media	7,103	1,464
	Curva aire libre	6,453	0,814
Error medio (m)			
Curva pasillo	1,268		
Curva media	0,707		
Curva aire libre	0,285		

Tabla 8 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento para la orientación 1

Resultados Orientación 2			
A – Reader 0079			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
6,119	Curva pasillo	9,409	3,291
	Curva media	8,255	2,136
	Curva aire libre	7,404	1,285
B – Reader 0078			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
2,000	Curva pasillo	1,753	0,247
	Curva media	1,796	0,204
	Curva aire libre	1,833	0,167
C – Reader 0077			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
5,639	Curva pasillo	5,658	0,018
	Curva media	5,203	0,437
	Curva aire libre	4,853	0,787
Error medio (m)			
Curva pasillo	1,186		
Curva media	0,925		
Curva aire libre	0,746		

Tabla 9 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento para la orientación 2

Resultados Orientación 3			
A – Reader 0079			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
6,119	Curva pasillo	5,759	0,360
	Curva media	5,287	0,832
	Curva aire libre	4,924	1,194
B – Reader 0078			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
2,000	Curva pasillo	2,460	0,460
	Curva media	2,443	0,443
	Curva aire libre	2,430	0,430
C – Reader 0077			
Distancia real (m)	Distancia calculada (m)		Error (m)
5,639	Curva pasillo	5,941	0,302
	Curva media	5,438	0,201
	Curva aire libre	5,054	0,586
Error medio (m)			
Curva pasillo	0,374		
Curva media	0,492		
Curva aire libre	0,737		

Tabla 10 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento para la orientación 3

Error medio total 3 orientaciones	
Error medio total (m)	
Curva pasillo	0,943
Curva media	0,708
Curva aire libre	0,589

Tabla 11 Error medio total de las 3 orientaciones

Pueden visualizarse mejor los resultados presentándolos de forma gráfica mediante el modelo de circunferencias, donde A es Reader 0079, B es Reader 0078 y C es Reader 0077 ([Figura 44](#)):

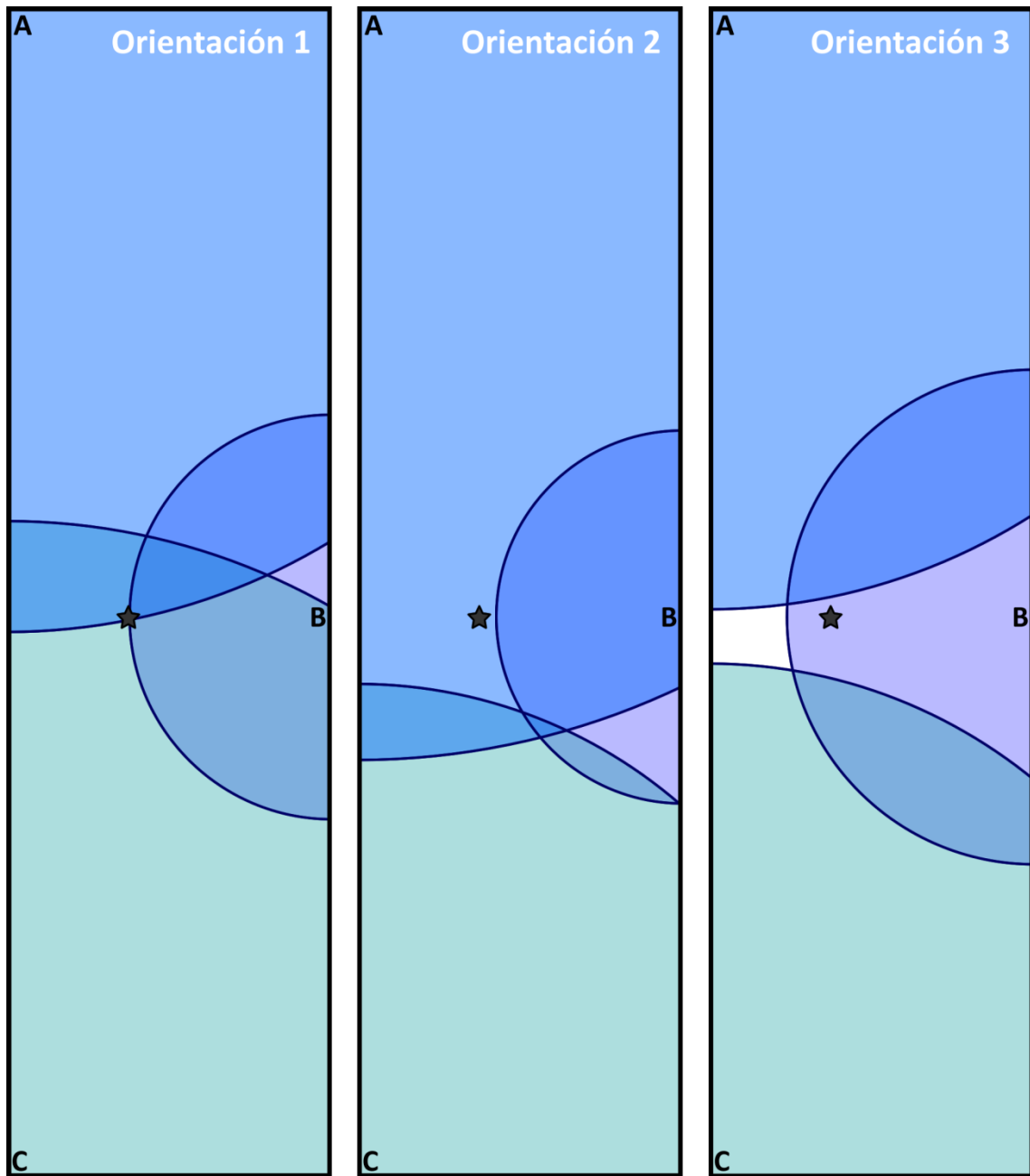


Figura 44 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento

Como se observa en los gráficos, **en ningún caso existía intersección de las tres circunferencias en un punto**, como establecía el Modelo teórico ideal, si no que lo hacía siempre en dos o más puntos. Puede observarse también cómo dependiendo de la orientación del tag se ve más o menos afectado uno u otro lector en cada momento.

Por tanto, había que encontrar una solución que mejorara el comportamiento del Algoritmo de posicionamiento.

6.4.2 SOLUCIÓN: MODELO CON ERROR

El modelo teórico planteado hasta ahora es un modelo sin error, donde se trazan circunferencias sobre cuya intersección ha de encontrarse el punto de medición ([Figura 45](#)).

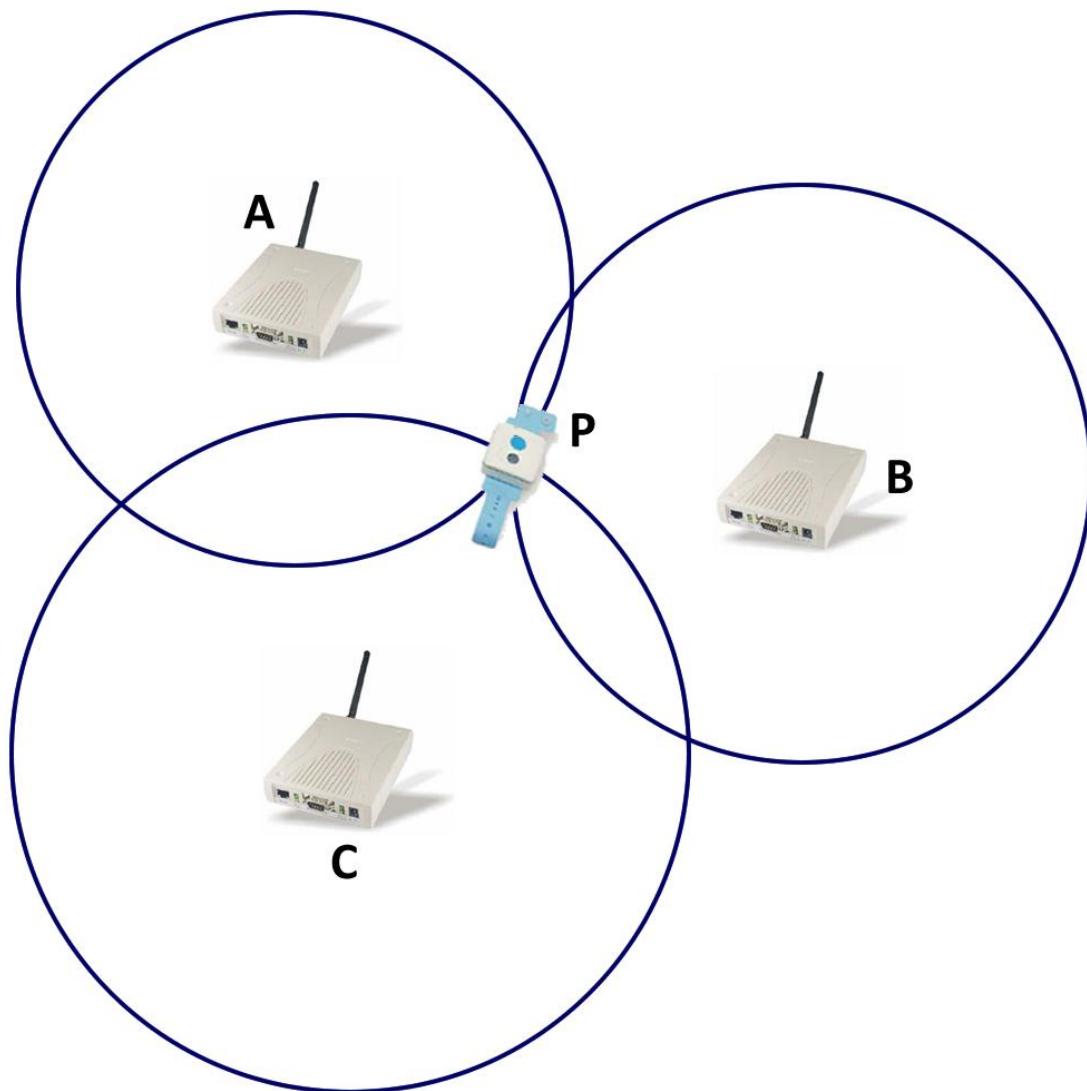


Figura 45 Ejemplo de modelo de trilateración sin error

Pero en el caso real, la intersección de las tres circunferencias en un punto es prácticamente imposible. Por tanto, ha de plantearse un **Modelo con error** que permita aproximar la posición del tag.

Estimado, a partir del error medio total calculado, el rango de potencias,

$$PW_A \in [PW_A - e_{PW}, PW_A + e_{PW}]$$

o de distancias

$$d_{AP} \in [d_{AP} - e_d, d_{AP} + e_d]$$

que esperan obtenerse para una distancia d_{AP} entre lector **A** y tag **P**, se define la corona circular (Figura 46) formada entre las circunferencias de radios $r = d_{AP} - e_d$ y $R = d_{AP} + e_d$ como el **área** donde se encuentra el punto medido. Conocida la corona circular formada desde otro lector **B**, puede tomarse la intersección entre ambas, que constituye una o dos áreas delimitadas por arcos circulares. Por último, mediante la corona circular de un tercer lector **C**, se estrecha el área final, de tal forma que puede determinarse la posición donde con alta probabilidad se encuentra el punto medido **P**. Si el área continúa siendo aún de tamaño significativo, lectores o puntos de referencia adicionales pueden ayudar a disminuirla para conseguir una posición lo más estricta posible.

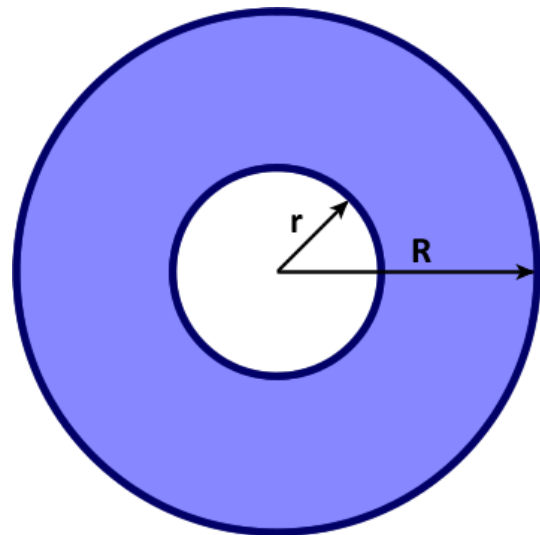


Figura 46 Corona circular

Gráficamente, el Modelo con error puede representarse de la siguiente forma (Figura 47):

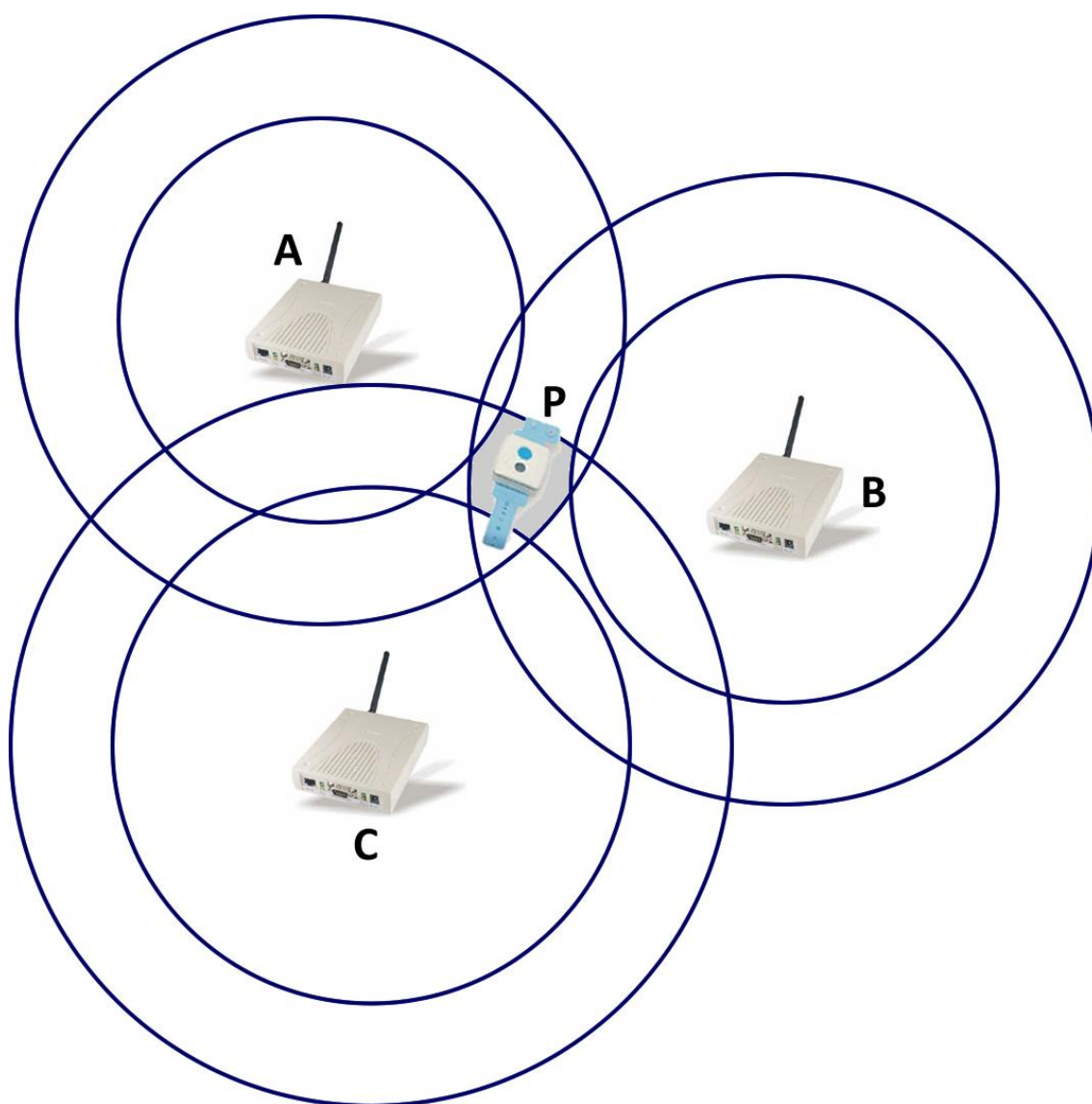


Figura 47 Ejemplo de modelo de trilateración con error

Este nuevo modelo enfatiza la importancia de elegir tres puntos que estén en direcciones muy diferentes —si los puntos están relativamente cerca unos de otros y a su vez lejos del punto a localizar, se requerirán medidas muy precisas para encontrar el punto mediante trilateración.

Por tanto, el escenario creado para el segundo grupo de pruebas del Algoritmo de posicionamiento sigue siendo óptimo para el estudio y se retoman los resultados de referencia obtenidos para las tres orientaciones del tag. Aunque el error medio total calculado para las tres orientaciones es $\bar{e}_{3 \text{ orientaciones}} = 0,589$ metros, dado que el error medio total de

distancia es $\bar{e}_{distancia} = 1,235$ metros, se toma como error para la estimación de las coronas circulares $e_d = 1$ metro (Figura 48).

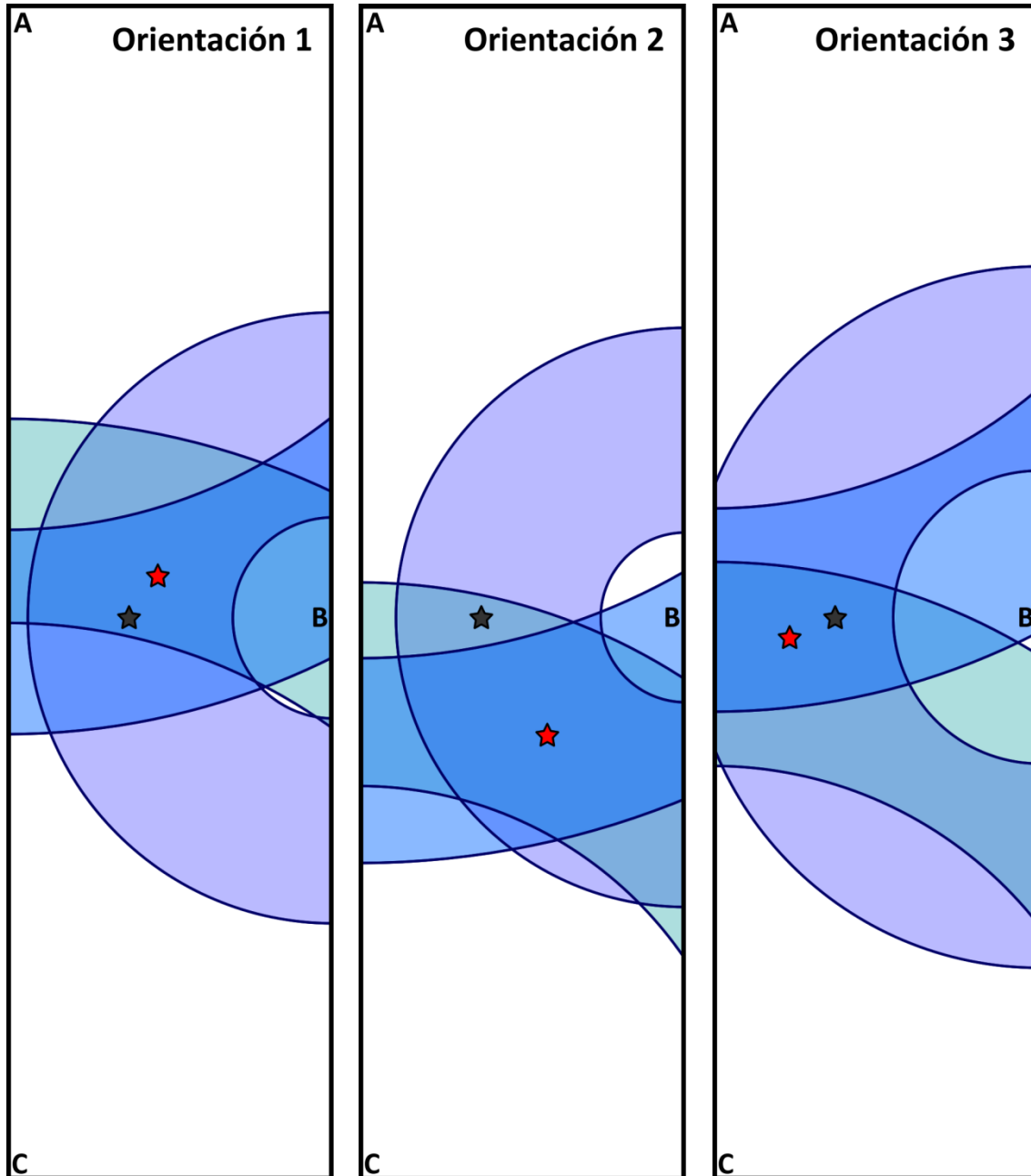


Figura 48 Resultados de pruebas de Algoritmo de posicionamiento con modelo de error

Como se observa, las áreas intersección en los tres casos representan la zona donde ha de localizarse el tag. El Algoritmo de posicionamiento proporciona una solución gráfica en la que la posición estudiada se estima en el **punto medio del área de intersección**. En los tres casos,

el área de intersección puede considerarse aún de tamaño significativo por lo que sería necesario añadir aquí una mejora al Algoritmo, como añadir un cuarto lector para estrechar estas áreas. La estrella roja representa el punto medio de las áreas de intersección y donde puede estimarse la posición del tag, dependiendo de la orientación del mismo en cada momento. Este punto medio podría hallarse mediante algún algoritmo de cálculo de baricentros. Puede decirse que los resultados obtenidos son bastante aceptables si se tienen en cuenta los objetivos buscados del caso de estudio.

6

Conclusiones y futuras mejoras



7 CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS

7.1 CONCLUSIONES

El objetivo de este Proyecto Fin de Carrera ha sido el diseño y desarrollo de un sistema de localización e identificación orientado al cuidado de la salud en el ámbito del hogar inteligente, basado en la tecnología RFID, que cumpliera, como objetivos secundarios, los requisitos de precisión, exactitud y fiabilidad.

Para ello, en primer lugar se realizó un estudio y evaluación del estado del arte, y una selección de las soluciones óptimas presentes en el campo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones aplicadas a la salud, identificando cuáles de ellas son técnicamente posibles, económicamente factibles y adecuadamente manejables por el usuario. Tras el diseño e implementación, tanto del Módulo de adquisición como del Algoritmo de posicionamiento, se realizaron pruebas de verificación y validación global del sistema, y se analizaron los resultados de la evaluación.

Como tecnología de identificación, RFID es ya indiscutible, se está comenzando a implantar en cada vez áreas más diversas y muy pronto acabará sustituyendo al código de barras. Desde que en 1980 comenzara a ser un gran éxito comercial, el código de barras ha perdurado hasta el día de hoy por sus prestaciones en tamaño, agilidad y rapidez en el control de stocks. Códigos bidimensionales matriciales como *Datamatrix* o los *Códigos QR*, fueron creados con la idea de sustituir a los códigos lineales de barras debido a sus limitaciones de almacenamiento de datos, pero el desarrollo del RFID ha permitido aportar además nuevas prestaciones y servicios, como identificación a distancia y la posibilidad de localización, muy útiles por ejemplo en el ámbito de cuidado de la salud, en el control de accesos a áreas restringidas, seguimiento de pacientes con movilidad o control de inventarios de medicamentos.

En cuanto a la localización, los resultados obtenidos en la realización de este Proyecto Fin de Carrera han sido mejores de lo esperado, donde el mayor error lo produce la orientación. Pero, aunque con precisiones en torno a 1 metro se cumplen los objetivos necesarios del caso de estudio del hogar inteligente, un sistema adaptativo de tags de referencia en posiciones conocidas aumentaría la precisión de la localización. Mejoras como ésta y las que se verán más adelante, en la tecnología y algoritmos, harán poco a poco que la tecnología RFID acabe

consolidándose como tecnología de posicionamiento de interiores, sobre todo en el ámbito del cuidado de la salud.

El Instituto de Automática Industrial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas coloca ya al RFID entre las tecnologías más precisas en posicionamiento de interiores consideradas en la actualidad³⁰ (Figura 49).

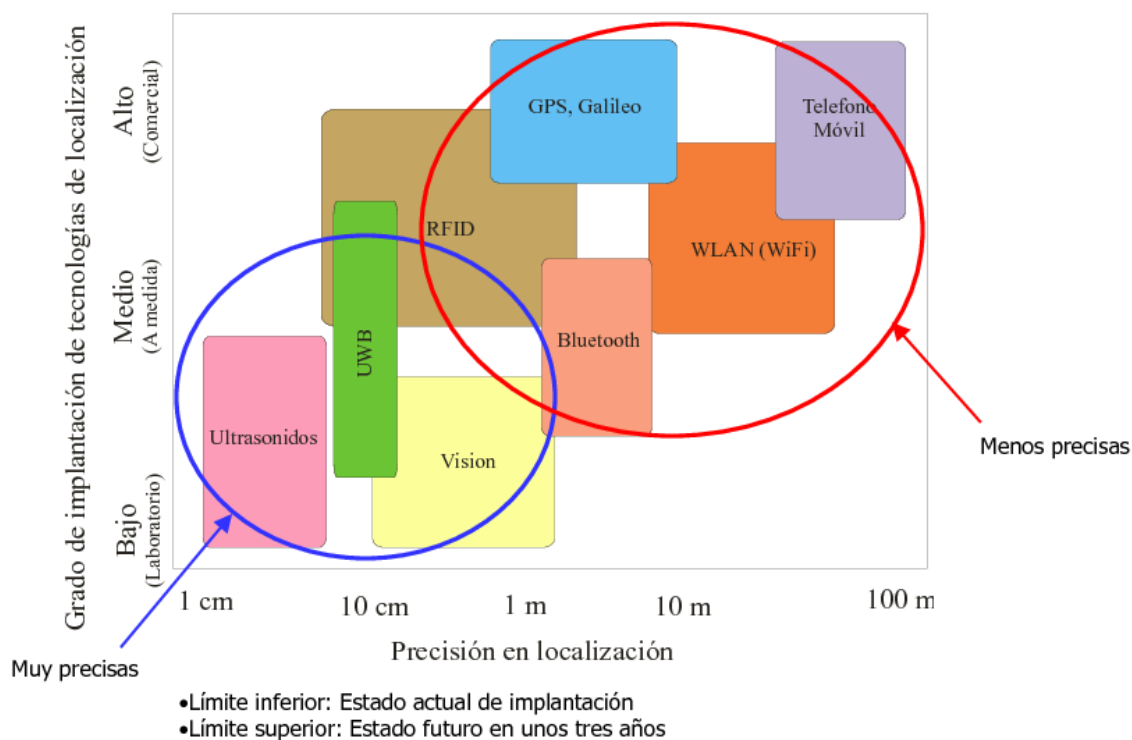


Figura 49 Visión general del estado actual en localización (Instituto de Automática Industrial-CSIC)

Como puede observarse en el gráfico, el RFID se encuentra en la mejor posición, como la tecnología que con más facilidad continuará implantándose de aquellas consideradas precisas o muy precisas.

Por tanto, la tecnología RFID será, en un futuro próximo, la tecnología de referencia de localización e identificación, sobre todo y sin lugar a dudas, en el sector del cuidado de la salud.

7.2 FUTURAS MEJORAS

A continuación se exponen las posibles futuras mejoras al sistema de localización e identificación:

1. 4 o más lectores.

El rápido descenso de precio de los lectores RFID-activo de alta frecuencia podría permitir la instalación de uno o varios lectores más que mejorarían notablemente los resultados de localización mediante trilateración, ya que las áreas de intersección se reducirían en gran medida y podrían conseguirse posiciones mucho más precisas.

2. Tags de referencia.

Mediante un sistema adaptativo de tags de referencia en posiciones conocidas podría mejorarse la precisión en la posición calculada y hacerse correcciones de los datos recibidos. Análogamente al DGPS o GPS diferencial (Differential GPS), los errores y ruidos en el sistema afectarían por igual (o de forma muy similar) a tags próximos entre sí y una vez detectado podrían llevarse a cabo las correcciones oportunas.

3. Tecnologías compartidas.

La posibilidad de fusión de la tecnología RFID con otra u otras tecnologías complementarias, podría dotar al sistema de localización e identificación, de mecanismos que le hicieran más robusto, por ejemplo, frente a las causas de incertidumbre que impiden una mayor precisión en los resultados.

Finalmente, están surgiendo ciertas **tendencias** en torno al posicionamiento en interiores que deben ser tenidas en cuenta ya que pueden proporcionar grandes mejoras al RFID o servirle de guía en su desarrollo:

- Conseguir redes de nodos sensoriales inalámbricos distribuidos aleatoriamente por el entorno, sin tener infraestructuras dedicadas.
- Algoritmos de autolocalización de nodos en redes de sensores, incluyendo la autoconfiguración, que no necesiten un sistema centralizado.

- Mejora de las precisiones mediante algoritmos que eliminen interferencias entre señales o efectos multitrayecto.
- Dispositivos en miniatura y bajo consumo.
- Fusión sensorial entre diferentes estrategias de localización.
- Desarrollo de chips GPS de alta sensibilidad (HSGPS) operativos en interiores

Referencias



8 REFERENCIAS

- ¹ Real Academia Española. Obtenido de http://buscon.rae.es/drae/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=dom%C3%B3tica [Diciembre, 2008]
- ² ISTweb - IST Advisory Group (ISTAG). Obtenido de <http://cordis.europa.eu/ist/istag.htm> [Diciembre, 2007]
- ³ ISTAG (2001). Scenarios for Ambient Intelligence in 2010. Editado por Ducatel, K.; Bogdanowicz, M.; Scapolo, F.; Leijten, J. y Burgelman, J-C. Disponible en <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/istagscenarios2010.pdf> [Diciembre, 2007]
- ⁴ VI Informe Anual sobre el Desarrollo de la Sociedad de la Información en España, eEspaña 2006. Fundación Auna. Disponible en http://www.fundacionauna.com/areas/25_publicaciones/eEspana_2006.pdf [Noviembre, 2008]
- ⁵ ¿Qué repercusiones tiene el envejecimiento mundial en la salud pública? Organización Mundial de la Salud (OMS). Obtenido de <http://www.who.int/features/qa/42/es/index.html> [Diciembre, 2007]
- ⁶ Abellán, A. (2006). Estado de Salud: Informe 2006. Las personas mayores en España. CSIC 2006. Disponible en <http://www.imersomayores.csic.es/estadisticas/informemayores/informe2006/index.html> [Diciembre, 2008]
- ⁷ World Health Organization (WHO) (2007). World Health Statistics. Disponible en <http://www.who.int/whosis/whostat2007.pdf> [Diciembre, 2007]
- ⁸ CIA - The World Factbook. Obtenido de <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2127rank.html> [Diciembre, 2007]
- ⁹ Instituto Nacional de Estadística. Obtenido de <http://www.ine.es/inebase2/leer.jsp?L=0&divi=EPOB&his=0> [Diciembre, 2007]
- ¹⁰ Proyecciones de población 1996-2011. Instituto de Estadística. Comunidad de Madrid. Obtenido de http://www.madrid.org/iestadis/fijas/efemerides/n_proye.htm [Diciembre, 2007]
- ¹¹ IMSERSO-CIS (1998). La soledad en las personas mayores. Estudio 2.279. Portal Mayores. Disponible en <http://www.imersomayores.csic.es/estadisticas/encuestas/index.html> [Diciembre, 2007]
- ¹² Dempsey, Mike. Indoor Positioning Systems for Healthcare White Paper. Radianse. Disponible en <http://www.radianse.com/technology-whitepaper.html> [Diciembre, 2007]
- ¹³ The Joint Commission International. Obtenido de <http://www.jointcommissioninternational.org> [Diciembre, 2007]
- ¹⁴ International Society for Quality in Health Care Inc. Obtenido de <http://www.isqua.org.au/isquaPages/Accreditation.html> [Diciembre, 2007]
- ¹⁵ Fundación Avedis Donabedian. Obtenido de http://www.fadq.org/default_principal.asp?cidioma=2 [Diciembre, 2007]

- ¹⁶ Joint Commission International (JCI) Accredited Organizations. Obtenido de <http://www.jointcommissioninternational.org/23218/iortiz> [Diciembre, 2007]
- ¹⁷ Comisión del Hogar Digital (2005). Sistemas de control. Tecnologías, Sistemas y Normativas. ASIMELEC. Disponible en http://www.coit.es/pub/ficheros/gt2_tecnologias_sistemas_y_normativas_v1_63caf952_251228b7.pdf?PHPSESSID=6d920bc22032302d9c7bc86a622d0f0d [Diciembre, 2007]
- ¹⁸ ISO/IEC 18000-1: 2004 Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 1: Reference architecture and definition of parameters to be standardized. Disponible en http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=34112 [Diciembre, 2007]
- ¹⁹ IEEE Std 802.15.1 - 2005 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. - Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs). Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=32053&arnumber=1490827&punumber=9980 [Diciembre, 2007]
- ²⁰ IEEE Std 802.15.4 - 2006 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements. - Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=35824&arnumber=1700009&punumber=11161 [Diciembre, 2007]
- ²¹ IEEE Std 802.15.4a - 2007 Amendment 1: Add Alternate PHYs. Amendment to IEEE Std 802.15.4 - 2006. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=4299495&arnumber=4299496&punumber=4299494 [Diciembre, 2007]
- ²² IEEE Std 802.11 - 2007 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=4248377&arnumber=4248378&punumber=4248376 [Diciembre, 2007]
- ²³ IEEE Std 802.15.3 - 2003 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. - Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=27918&arnumber=1245785&punumber=8821 [Diciembre, 2007]
- ²⁴ IEEE Std 802.15.3b - 2005 Amendment 1: MAC Sublayer. Amendment to IEEE Std 802.15.3 - 2003. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=35106&arnumber=1672996&punumber=11074 [Diciembre, 2007]

²⁵ About Z-Wave. Z-Wave.com. Obtenido de <http://www.z-wave.com/modules/AboutZ-Wave/> [Diciembre, 2007]

²⁶ IrDA Specifications and Technical Notes. IrDA. Obtenido de <http://www.irda.org/displaycommon.cfm?an=1&subarticlenbr=7> [Diciembre, 2007]

²⁷ Boehm, Barry (1988). A Spiral Model of Software Development and Enhancement. IEEE. Disponible en <http://www.sce.carleton.ca/faculty/ajila/4106-5006/Spiral%20Model%20Boehm.pdf> [Diciembre, 2007]

²⁸ Fowler, Martin (2006). Continuous Integration. Obtenido de <http://martinfowler.com/articles/continuousIntegration.html> [Diciembre, 2007]

²⁹ The Java Tutorials. Sun Microsystems. Disponible en <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/> [Diciembre, 2007]

³⁰ Tecnologías sensoriales de localización para entornos inteligentes. Instituto de Automática Industrial. CSIC. Obtenido de http://www.proteinlab.cl/arhiv_transcape/Tecnologias%20localizacion%20entornos%20inteligentes.pdf [Diciembre, 2008]

PLIEGO DE CONDICIONES

PLIEGO DE CONDICIONES

ARTÍCULO 1º

La ejecución de la obra se llevará a cabo por el procedimiento de contratación directa.

ARTÍCULO 2º

Las relaciones laborales y administrativas entre el contratista y el contratado, a efectos del desarrollo del proyecto, estarán sujetas a la normativa vigente. El adjudicatario está igualmente obligado al cumplimiento de toda la legislación vigente sobre seguridad e higiene en el trabajo y fomento del consumo de artículos nacionales.

ARTÍCULO 3º

El contratista tiene derecho a obtener a su costa cuantas copias requiera de los planos, pliego de condiciones y presupuesto, copias que serán utilizadas por él y deberán ser autorizadas por el ingeniero director con su firma después de ser confrontadas con el original.

ARTÍCULO 4º

Las cargas y salarios deberán ajustarse al presupuesto en cuanto a cantidad y duración. Para cualquier variación, el contratista deberá pedir la debida autorización al ingeniero proyectista.

ARTÍCULO 5º

Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute de acuerdo con el proyecto que sirva de base para el contrato, de acuerdo a los precios asignados a estas obras y otras análogas, si las hubiera.

ARTÍCULO 6º

Si se juzgara necesario efectuar modificaciones que no figuren en el presupuesto de la contrata, se valorará su importe, de acuerdo a los precios asignados a estas obras y otras análogas, si las hubiera.

ARTÍCULO 7º

El contratista u órgano correspondiente queda obligado a abonar al ingeniero autor del proyecto y director de los trabajos, así como a sus respectivos ayudantes, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por la realización del proyecto, realización técnica y administrativa, de acuerdo con las tarifas y honorarios vigentes.

ARTÍCULO 8º

Los ordenadores utilizados deberán ser los que se especifican en la lista de equipos.

ARTÍCULO 9º

En los gastos generales se incluyen los correspondientes a la delineación, así como los de amortización y cargas fiscales.

ARTÍCULO 10º

El ingeniero autor del proyecto se reserva la facultad de percibir las cantidades que pudiesen derivarse de la comercialización de los programas, en concepto de derechos de autor. Asimismo, se reserva el derecho de efectuar modificaciones en el mismo si lo considera oportuno.

ARTÍCULO 11º

El contratista, por el hecho de contratar el proyecto, se compromete a aceptar todas las cláusulas de este pliego de condiciones, los planos y el presupuesto adjunto.

ARTÍCULO 12º

Las especificaciones, limitaciones y funcionalidad de las aplicaciones serán las que vengan detalladas en los respectivos manuales.

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

El coste total del proyecto ha sido calculado en base a los siguientes conceptos:

Coste de uso de los equipos informáticos.

Coste de personal.

Coste de materiales fungibles.

Gastos generales, beneficio industrial e I.V.A.

La duración total del proyecto se estima en doce meses, incluyendo la mecanografía y el tratamiento de textos.

El equipo de desarrollo del proyecto está integrado por un estudiante de Ingeniería Superior de Telecomunicación, encargado del desarrollo de la aplicación, así como de la redacción del proyecto.

Las cantidades se expresan en euros (€).

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

El Presupuesto de Ejecución Material, referido en adelante como PEM, se elabora a partir del coste de uso de equipos informáticos, costes de personal y costes de materiales fungibles.

COSTE DE USO DE EQUIPOS INFORMÁTICOS

Se incluyen los gastos de amortización de los equipos informáticos utilizados en el desarrollo de la integración del software, procesamiento de datos y en la redacción del proyecto.

Equipo	Precio unidad	Unidades	Amortización	Uso	Total
Ordenador PC basado en Intel Core 2 Duo CPU 6300 a 1.86GHz con 1Gb RAM y disco duro de 80Gb	1.199,00 €	1	3 años	12 meses	399,66 €
Lector activo SYRD245-1N	890,00 €	3	3 años	12 meses	2.670,00 €
Tag RFID Activo SYTAG245-TM	130,00€	3	3 años	12 meses	390,00 €
Tag RFID Activo SYTAG245-2C	68,00 €	3	3 años	12 meses	204,00 €
Tag RFID Activo SYTAG245-2S	40,00 €	3	3 años	12 meses	120,00 €
Tag RFID Activo SYTAG245-2K	40,00 €	3	3 años	12 meses	120,00 €
Fast Ethernet Switch 8 puertos	113,00 €	1	3 años	12 meses	113,00 €
Cable Fast Ethernet (40 m)	40,00 €	1	3 años	12 meses	40,00 €
Total					4.056,66 €

COSTES DE PERSONAL

SALARIO POR JORNADA DE TRABAJO

Se detallan a continuación los sueldos base diarios, las obligaciones sociales y las primas (15% del sueldo base) del personal que desarrolla el proyecto. Estas tres cantidades componen el sueldo efectivo por jornada.

Personal	Sueldo base	Cargas sociales	Primas	Coste efectivo
Ingeniero Superior de Telecomunicación	101,24 €	28,34 €	15,18 €	144,77 €

IMPORTE TOTAL POR GASTOS DE PERSONAL

El cálculo del sueldo total se efectúa sobre la base de doce meses de trabajo (264 jornadas) para el ingeniero proyectista.

Personal	Coste efectivo	Jornadas	Coste total
Ingeniero Superior de Telecomunicación	144,77 €	264	38.219,28 €
Total			38.219,28 €

COSTES DE PRESUPUESTO DE MATERIALES FUNGIBLES

Se incluyen los costes del material empleado durante el desarrollo del proyecto.

Equipo	Precio unidad	Amortización	Uso	Total
Impresora HP LaserJet 2840	984,23 €	3 años	1 mes	27,34 €
Encuadernación				90,15 €
Total				117,49 €

COSTES DE PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

Concepto	Coste total
Coste de uso del equipo	4.056,66 €
Costes de personal	38.219,28 €
Material fungible	117,49 €
Total	42.393,43 €

PRESUPUESTO DE CONTRATA

En el Presupuesto de Contrata, referido de aquí en adelante como PC, se incluyen los Gastos Generales y el Beneficio Industrial.

Concepto	Coste total
PEM	42.393,43 €
Gastos Generales (16%)	6.782,95 €
Beneficio Industrial (6%)	2.543,61 €
Total	51.719,98 €

PRESUPUESTO TOTAL

El presupuesto total del proyecto (I.V.A. no incluido) asciende a la cantidad de:

CINCUENTA Y UN MIL SETECIENTOS DIECINUEVE EUROS Y NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS (51.719,98 €).

El I.V.A. correspondiente al día de la fecha sería el 16% del valor total, es decir, 8.275,20 €. El presupuesto total, I.V.A. incluido, asciende a 59.995,18 €.

Madrid, a 18 de Diciembre de 2008

Isaac Castro García
Ingeniero de Telecomunicación

- ¹ Real Academia Española. Obtenido de http://http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=dom%C3%B3tica [Diciembre, 2008]
- ² ISTweb - IST Advisory Group (ISTAG). Obtenido de <http://cordis.europa.eu/ist/istag.htm> [Diciembre, 2007]
- ³ ISTAG (2001). Scenarios for Ambient Intelligence in 2010. Editado por Ducatel, K.; Bogdanowicz, M.; Scapolo, F.; Leijten, J. y Burgelman, J-C. Disponible en <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/istagscenarios2010.pdf> [Diciembre, 2007]
- ⁴ VI Informe Anual sobre el Desarrollo de la Sociedad de la Información en España, eEspaña 2006. Fundación Auna. Disponible en http://www.fundacionauna.com/areas/25_publicaciones/eEspana_2006.pdf [Noviembre, 2008]
- ⁵ ¿Qué repercusiones tiene el envejecimiento mundial en la salud pública? Organización Mundial de la Salud (OMS). Obtenido de <http://www.who.int/features/qa/42/es/index.html> [Diciembre, 2007]
- ⁶ Abellán, A. (2006). Estado de Salud: Informe 2006. Las personas mayores en España. CSIC 2006. Disponible en <http://www.imersomayores.csic.es/estadisticas/informemayores/informe2006/index.html> [Diciembre, 2008]
- ⁷ World Health Organization (WHO) (2007). World Health Statistics. Disponible en <http://www.who.int/whosis/whostat2007.pdf> [Diciembre, 2007]
- ⁸ CIA - The World Factbook. Obtenido de <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2127rank.html> [Diciembre, 2007]
- ⁹ Instituto Nacional de Estadística. Obtenido de <http://www.ine.es/inebase2/leer.jsp?L=0&divi=EPOB&his=0> [Diciembre, 2007]
- ¹⁰ Proyecciones de población 1996-2011. Instituto de Estadística. Comunidad de Madrid. Obtenido de http://www.madrid.org/iestadis/fijas/efemerides/n_proye.htm [Diciembre, 2007]
- ¹¹ IMSERSO-CIS (1998). La soledad en las personas mayores. Estudio 2.279. Portal Mayores. Disponible en <http://www.imersomayores.csic.es/estadisticas/encuestas/index.html> [Diciembre, 2007]
- ¹² Dempsey, Mike. Indoor Positioning Systems for Healthcare White Paper. Radianse. Disponible en <http://www.radianse.com/technology-whitepaper.html> [Diciembre, 2007]
- ¹³ The Joint Commission International. Obtenido de <http://www.jointcommissioninternational.org> [Diciembre, 2007]
- ¹⁴ International Society for Quality in Health Care Inc. Obtenido de <http://www.isqua.org.au/isquaPages/Accreditation.html> [Diciembre, 2007]
- ¹⁵ Fundación Avedis Donabedian. Obtenido de http://www.fadq.org/default_principal.asp?cidioma=2 [Diciembre, 2007]
- ¹⁶ Joint Commission International (JCI) Accredited Organizations. Obtenido de <http://www.jointcommissioninternational.org/23218/iortiz> [Diciembre, 2007]

-
- ¹⁷ Comisión del Hogar Digital (2005). Sistemas de control. Tecnologías, Sistemas y Normativas. ASIMELEC. Disponible en http://www.coit.es/pub/ficheros/gt2_tecnologias_sistemas_y_normativas_v1_63caf952_251228b7.pdf?PHPSESSID=6d920bc22032302d9c7bc86a622d0f0d [Diciembre, 2007]
- ¹⁸ ISO/IEC 18000-1: 2004 Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 1: Reference architecture and definition of parameters to be standardized. Disponible en http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=34112 [Diciembre, 2007]
- ¹⁹ IEEE Std 802.15.1 - 2005 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. - Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs). Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=32053&arnumber=1490827&punumber=9980 [Diciembre, 2007]
- ²⁰ IEEE Std 802.15.4 - 2006 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements. - Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=35824&arnumber=1700009&punumber=11161 [Diciembre, 2007]
- ²¹ IEEE Std 802.15.4a - 2007 Amendment 1: Add Alternate PHYs. Amendment to IEEE Std 802.15.4 - 2006. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=4299495&arnumber=4299496&punumber=4299494 [Diciembre, 2007]
- ²² IEEE Std 802.11 - 2007 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=4248377&arnumber=4248378&punumber=4248376 [Diciembre, 2007]
- ²³ IEEE Std 802.15.3 - 2003 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. - Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=27918&arnumber=1245785&punumber=8821 [Diciembre, 2007]
- ²⁴ IEEE Std 802.15.3b - 2005 Amendment 1: MAC Sublayer. Amendment to IEEE Std 802.15.3 - 2003. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?tp=&isnumber=35106&arnumber=1672996&punumber=11074 [Diciembre, 2007]
-

²⁵ About Z-Wave. Z-Wave.com. Obtenido de <http://www.z-wave.com/modules/AboutZ-Wave/> [Diciembre, 2007]

²⁶ IrDA Specifications and Technical Notes. IrDA. Obtenido de <http://www.irda.org/displaycommon.cfm?an=1&subarticlenbr=7> [Diciembre, 2007]

²⁷ Boehm, Barry (1988). A Spiral Model of Software Development and Enhancement. IEEE. Disponible en <http://www.sce.carleton.ca/faculty/ajila/4106-5006/Spiral%20Model%20Boehm.pdf> [Diciembre, 2007]

²⁸ Fowler, Martin (2006). Continuous Integration. Obtenido de <http://martinfowler.com/articles/continuousIntegration.html> [Diciembre, 2007]

²⁹ The Java Tutorials. Sun Microsystems. Disponible en <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/> [Diciembre, 2007]

³⁰ Tecnologías sensoriales de localización para entornos inteligentes. Instituto de Automática Industrial. CSIC. Obtenido de http://www.proteinlab.cl/arhiv_transcape/Tecnologias%20localizacion%20entornos%20inteligentes.pdf [Diciembre, 2008]